

Outlook

RV: Anexos Acta de visita _ CARVAJAL PULPA Y PAPEL

Desde Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>**Fecha** Mié 10/09/2025 2:13 PM**Para** Sandra Milena Acosta Roa - Cont <sacosta@mincit.gov.co>; María Victoria Cardozo Maglioni -Cont <mcardozo@mincit.gov.co>; Mariam Ibeth Guerra de Luque - Cont <mguerra@mincit.gov.co> 6 archivos adjuntos (2 MB)

Anexos 10_FIRMADOS_PUBLICO.pdf; Anexos 10_FIRMADOS_CONFIDENCIAL.pdf; Anexo 7 - Anexo 12. Estados de Resultados_FIRMADO_CONFIDENCIAL.pdf; Anexo 7 - Anexo 12. Estados de Resultados_FIRMADO_PUBLICO.pdf; Facturas comerciales _CONFIDENCIAL.pdf; Facturas comerciales _PUBLICO.pdf;

De: Gerardo Rafael Chadid Santamaria <gchadid@bu.com.co>**Enviado el:** miércoles, 10 de septiembre de 2025 11:43 a. m.**Para:** Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>**CC:** José Francisco Mafla <jmafla@bu.com.co>; Jennifer Carolina Fernández Morales <cfernandez@bu.com.co>; María Victoria Cardozo Maglioni -Cont <mcardozo@mincit.gov.co>; info <info@mincit.gov.co>**Asunto:** Anexos Acta de visita _ CARVAJAL PULPA Y PAPEL

Respetada Arantxa,

De acuerdo con el compromiso adquirido en marco del acta de visita a las instalaciones de CARVAJAL PULPA Y PAPEL S.A.S., nos permitimos remitir los siguientes documentos:

- Anexo 10 actualizado y firmado por contador y revisor fiscal. Versión pública y versión confidencial.
- Anexo 12 actualizado y firmado por contador y revisor fiscal. Versión pública y versión confidencial.
- Traducción oficial de facturas de pulpa de eucalipto. Versión publica y versión confidencial.

Saludos,

Gerardo

Gerardo Rafael Chadid Santamaria

Asociado | Associate

gchadid@bu.com.co · www.bu.com.co

+57-60-1-3462011 Ext.8446

+57-60-1-7442211 Ext.8446

Calle 70 Bis No. 4 - 41

Bogotá, Colombia

NIT: 800.134.536-3



Información confidencial protegida por la reserva profesional del abogado. Si usted no es el destinatario del correo, por favor comuníquese de inmediato al remitente y proceda a destruirlo. En este evento, estará prohibida la retención, utilización, copia o divulgación por cualquier medio de la información que se encuentre en el mensaje y en sus archivos adjuntos. Se deberá cumplir con lo dispuesto en la Ley 1581 de 2012 y demás normas que la complementen, sustituyan o modifiquen, en caso de ser aplicable.

Confidential information protected by attorney-client privilege. If you are not the intended recipient of this e-mail, please notify the sender immediately and proceed to delete it. In such an event, the retention, use, copy or distribution of the information contained herein or in any attachments, by any means is strictly prohibited. Law 1581 of 2012 should be adhered to as well as any other complementary, substitute or modifications to the norms, in the case that they are applicable.

De: Gerardo Rafael Chadid Santamaria**Enviado el:** viernes, 5 de septiembre de 2025 7:50 a. m.**Para:** Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>**CC:** José Francisco Mafla <jmafla@bu.com.co>; Jennifer Carolina Fernández Morales <cfernandez@bu.com.co>; María Victoria Cardozo Maglioni -Cont <mcardozo@mincit.gov.co>**Asunto:** RE: Anexos Acta de visita _ CARVAJAL PULPA Y PAPEL

Se aportan como documentos confidenciales las facturas mediante las cuales Carvajal ha adquirido pulpa de eucalipto. Esta información corresponde a información confidencial de la empresa, que no es susceptible de resumen, al ser información específica y concreta de precios de compra de materia prima. En ese sentido, es información que goza de reserva y que en ningún momento puede trascender a ser conocida por los competidores, partes interesadas o público en general, conforme al artículo 61 del Código de Comercio, numeral 2 del artículo 39 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio – ADPIC, vinculante en Colombia por mandato de la Ley 170 de 1994, el artículo 260 de la decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina de Naciones y el numeral 6 del artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

Anexo 12 Estados de Resultados

Corresponde a información confidencial de la empresa, que no es susceptible de resumen, al tratarse de información financiera y económica de la empresa que de ser revelada puede causar un perjuicio a la compañía. En ese sentido, es información que goza de reserva y que en ningún momento puede trascender a ser conocida por los competidores, partes interesadas o público en general, conforme al artículo 61 del Código de Comercio, numeral 2 del artículo 39 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio – ADPIC, vinculante en Colombia por mandato de la Ley 170 de 1994, el artículo 260 de la decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina de Naciones y el numeral 6 del artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

Anexo 10

Corresponde a información confidencial de la empresa, que no es susceptible de resumen, al tratarse de información financiera y económica de la empresa que de ser revelada puede causar un perjuicio a la compañía. En ese sentido, es información que goza de reserva y que en ningún momento puede trascender a ser conocida por los competidores, partes interesadas o público en general, conforme al artículo 61 del Código de Comercio, numeral 2 del artículo 39 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio – ADPIC, vinculante en Colombia por mandato de la Ley 170 de 1994, el artículo 260 de la decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina de Naciones y el numeral 6 del artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO



RV: Documento mediante el cual se solicita incorporar al expediente pruebas con respecto a la similaridad, representatividad y daño

Desde Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>

Fecha Vie 12/09/2025 3:21 PM

Para Gilma Daniela Rodríguez Correa <grodriguez@mincit.gov.co>; Yesid Calderón Castellanos -Cont <ycalderon@mincit.gov.co>; Maria Victoria Cardozo Maglioni -Cont <mcardozo@mincit.gov.co>; Elkin Javier Cañavera Oñate <ecanavera@mincit.gov.co>; Sandra Milena Acosta Roa - Cont <sacosta@mincit.gov.co>

 11 archivos adjuntos (14 MB)

250909 - Solicitud aporte de pruebas BOND_PUBLICO.pdf; Anexo 1 – Estudio realizado por Peter W. Hart_PUBLICO.pdf; Anexo 2 – Estudio realizado por Isabel Carrillo_PUBLICO.pdf; Anexo 3 – Estudio realizado por Bárbara Pereira_PUBLICO.pdf; Anexo 4 – Tabla comparativa_PUBLICO.pdf; Anexo 5 – Artículo realizado por MITSUBISHI PAPEL_PUBLICO.pdf; Anexo 6 - Resolución 9093 de 2012_PUBLICO.pdf; Anexo 7 - Facturas comerciales _CONFIDENCIAL.pdf; Anexo 8 - Grafica consum_PUBLICO.pdf; Anexo 9 - CORREOS_PEDIDOS_2023-2024_PUBLICO.pdf; Anexo 7 - Facturas comerciales _PUBLICO.pdf;

De: Carlos Andres Camacho Nieto <ccamacho@mincit.gov.co>

Enviado el: jueves, 11 de septiembre de 2025 2:09 p. m.

Para: Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>; Juan Andres Perez Almeida - Cont <jperez@mincit.gov.co>; Mariam Ibeth Guerra de Luque - Cont <mguerra@mincit.gov.co>

CC: Yineth Daniela Rugeles Bastos - Cont <yrugeles@mincit.gov.co>

Asunto: RV: Documento mediante el cual se solicita incorporar al expediente pruebas con respecto a la similaridad, representatividad y daño

Buenas tardes, PSI y fines pertinentes. Favor incorporar al correspondiente expediente y compartir con todos los servidores involucrados en esta investigación.

Cordialmente:



Subdirector de Prácticas Comerciales (E)

Carlos Andrés Camacho Nieto

ccamacho@mincit.gov.co

Teléfono: (+57) 601 6067676 ext. 2225/1694

Subdirección de Prácticas Comerciales

Calle 28 No. 13 A – 15 Piso 16

Bogotá, Colombia

www.mincit.gov.co

ADVERTENCIA: Este mensaje y cualquier archivo anexo son confidenciales y para uso exclusivo de su destinatario.

La utilización, copia, reimpresión y/o reenvío del mismo por personas distintas al destinatario están expresamente prohibidos.

Si usted no es destinatario, favor notificar en forma inmediata al remitente y borrar el mensaje original y cualquier archivo anexo

De: Gerardo Rafael Chadid Santamaria <gchadid@bu.com.co>

Enviado: miércoles, 10 de septiembre de 2025 11:29

Para: Carlos Andres Camacho Nieto <ccamacho@mincit.gov.co>; info <info@mincit.gov.co>

Cc: José Francisco Mafla <jmafla@bu.com.co>; Jennifer Carolina Fernández Morales <cfernandez@bu.com.co>; Sarah Ramírez Osuna <sramirez@bu.com.co>

Asunto: Documento mediante el cual se solicita incorporar al expediente pruebas con respecto a la similaridad, representatividad y daño

Doctor

CARLOS ANDRES CAMACHO NIETO

DIRECTOR DE COMERCIO EXTERIOR (E)

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO

Calle 28 No. 13ª – 15 Piso 16

info@mincit.gov.co

ccamacho@mincit.gov.co

Bogotá

Asunto: Solicitud para incorporar al expediente (i) pruebas de estudios científicos que acreditan la similaridad del bagazo de caña y la fibra de eucalipto como materias primas para la producción de Papel Bond; (ii) pruebas relativas a la caracterización del Papel Bond en contraste con otros productos no sujetos a investigación; (iii) facturas comerciales que acreditan la compra y uso de eucalipto por parte de Carvajal para la producción de Papel Bond; (iv) gráfica de consumo aparente que acredita a Carvajal como único productor en el mercado tras la salida de Smurfit Kappa; y (v) Correos electrónicos y comunicaciones en relación con la capacidad de Carvajal de satisfacer la demanda del mercado.

GERARDO CHADID SANTAMARÍA, mayor de edad, domiciliado en la ciudad de Bogotá D.C., identificado con la cédula de ciudadanía No. 1.143.333.174 y portador de la tarjeta profesional No. 217.857 del C.S. de la J., actuando en calidad de apoderado especial de la compañía **CARVAJAL PULPA Y PAPEL S.A. (“CARVAJAL PULPA Y PAPEL”)**. Por medio del presente escrito, me dirijo a usted muy respetuosamente con el fin de allegar documento mediante el cual se solicita incorporar al expediente pruebas con respecto a la similaridad, representatividad y daño en el marco de la investigación administrativa en curso por importaciones a precio de dumping de papel bond originario de Brasil.

Atentamente,

Gerardo Chadid

Gerardo Rafael Chadid Santamaria

Asociado | Associate

**Brigard
Urrutia**

gchadid@bu.com.co · www.bu.com.co

+57-60-1-3462011 Ext.8446

+57-60-1-7442211 Ext.8446

Calle 70 Bis No. 4 - 41

Bogotá, Colombia

NIT: 800.134.536-3



Información confidencial protegida por la reserva profesional del abogado. Si usted no es el destinatario del correo, por favor comuníquese de inmediato al remitente y proceda a destruirlo. En este evento, estará prohibida la retención, utilización, copia o divulgación por cualquier medio de la información que se encuentre en el mensaje y en sus archivos adjuntos. Se deberá cumplir con lo dispuesto en la Ley 1581 de 2012 y demás normas que la complementen, sustituyan o modifiquen, en caso de ser aplicable.

Confidential information protected by attorney-client privilege. If you are not the intended recipient of this e-mail, please notify the sender immediately and proceed to delete it. In such an event, the retention, use, copy or distribution of the information contained herein or in any attachments, by any means is strictly prohibited. Law 1581 of 2012 should be adhered to as well as any other complementary, substitute or modifications to the norms, in the case that they are applicable.

Bogotá D.C., 10 de septiembre de 2025.

Doctor

CARLOS ANDRÉS CAMACHO NIETO
DIRECTOR DE COMERCIO EXTERIOR (E)
DIRECCIÓN DE COMERCIO EXTERIOR
MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO
Calle 28 No. 13ª – 15 Piso 16
ccamacho@mincit.gov.co

Asunto: Solicitud para incorporar al expediente (i) pruebas de estudios científicos que acreditan la similitud del bagazo de caña y la fibra de eucalipto como materias primas para la producción de Papel Bond; (ii) pruebas relativas a la caracterización del Papel Bond en contraste con otros productos no sujetos a investigación; (iii) facturas comerciales que acreditan la compra y uso de eucalipto por parte de Carvajal para la producción de Papel Bond; (iv) gráfica de consumo aparente que acredita a Carvajal como único productor en el mercado tras la salida de Smurfit Kappa; y (v) Correos electrónicos y comunicaciones en relación con la capacidad de Carvajal de satisfacer la demanda del mercado.

Referencia: Memorial mediante el cual se aportan pruebas a la investigación administrativa en curso sobre expediente D-105-02-139

GERARDO CHADID SANTAMARIA, mayor de edad, domiciliado en la ciudad de Bogotá D.C., identificado con la cédula de ciudadanía No. 1.143.333.174 y portador de la tarjeta profesional No. 217.857 del C.S. de la J., actuando en calidad de apoderado especial de la compañía **CARVAJAL PULPA Y PAPEL S.A.S (“CARVAJAL PULPA Y PAPEL”)**, tal como consta en el expediente, me dirijo a usted muy respetuosamente con el fin de solicitud para incorporar al expediente (i) pruebas de estudios científicos que acreditan la similitud del bagazo de caña y la fibra de eucalipto como materias primas para la producción de Papel Bond; (ii) pruebas relativas a la caracterización del Papel Bond en contraste con otros productos no sujetos a investigación; (iii) facturas comerciales que acreditan la compra y uso de eucalipto por parte de Carvajal para la producción de Papel Bond; (iv) gráfica de consumo aparente que acredita a Carvajal como único productor en el mercado tras la salida de Smurfit Kappa; y (v) Correos electrónicos y comunicaciones en relación con la capacidad de Carvajal de satisfacer la demanda del mercado.

I. ANTECEDENTES

1. Mediante la Resolución No. 046 del 28 de febrero de 2025, publicada en el Diario Oficial No. 53.047 del 03 de marzo de 2025, la Dirección de Comercio Exterior, del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, dispuso la apertura de una investigación de carácter administrativo, con el objeto de determinar la existencia, grado y efectos en la rama de la producción nacional, de un supuesto dumping en las importaciones de papel bond, clasificadas por las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00, originarias de Brasil.
2. Mediante la Resolución No. 200 del 4 de agosto de 2025, la Dirección de Comercio Exterior, del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, dispuso la extensión del término para práctica de pruebas dentro de la investigación en curso hasta el día 10 de septiembre de 2025.
3. En virtud de la decisión adoptada por el Ministerio de extender el periodo probatorio, nos encontramos en término para realizar solicitud de aporte de pruebas al expediente.

II. SUSTENTO DE LA SOLICITUD

En el marco de la presente investigación, resulta indispensable aportar como pruebas al expediente un conjunto de pruebas que permitan a la autoridad contar con un panorama técnico, económico y factico completo sobre la base del cual se logre determinar con objetividad la existencia de una práctica de dumping, el daño a la rama de producción nacional, y la causalidad entre las importaciones a precio de dumping y el daño.

Las pruebas que se aportan son de particular relevancia, puesto que no solo respaldan de manera clara los argumentos expresados por Carvajal, sino que también refuerzan la representatividad del productor nacional, y desvirtúan los argumentos planteados por productores extranjeros e importadores.

En este sentido, la incorporación de estos elementos probatorios no constituye un simple complemento, sino un insumo esencial para la adecuada valoración de los hechos y la adopción de una decisión fundamentada en la mayor cantidad de información veraz disponible, lo que garantiza un examen riguroso y conforme al marco normativo aplicable al procedimiento administrativo de investigaciones antidumping previsto en el Decreto 1794 de 2020

Las pruebas que se aportan al expediente son las siguientes:

- I. Estudios científicos elaborados por universidades y centros de investigación que demuestran que tanto el bagazo de caña de azúcar como la fibra de eucalipto son materias primas idóneas para la producción de Papel Bond. Estos estudios evidencian que ambas materias permiten obtener un producto similar, reforzando los criterios técnicos que sustentan la similitud entre el producto nacional y el importado.
- II. Pruebas técnicas de caracterización del papel, que permiten diferenciar con precisión los distintos tipos y reafirmar el producto objeto de investigación, descartando la falta de similitud entre los productos.
- III. Facturas comerciales que acreditan la compra y utilización de fibra de eucalipto por parte de Carvajal en la producción de Papel Bond, demostrando así que tanto el eucalipto son materias primas intercambiables que son utilizadas para producir productos similares.
- IV. Información del consumo nacional aparente, que da cuenta de cómo tras la salida de Smurfit Kappa Carvajal se convirtió en el único producto nacional, resaltando su representatividad en la industria nacional y los esfuerzos de la compañía pese a la situación de daño.
- V. Correos electrónicos e información que desvirtúan las afirmaciones realizadas por importadores y productores extranjeros, en relación con la supuesta incapacidad de Carvajal para atender la demanda del mercado.

1. Determinación de la similitud: el producto de fabricación nacional y el importado corresponden a un mismo producto

De conformidad con lo establecido por la autoridad investigadora en la Decisión Preliminar adoptada, ha sido establecido que el Papel Bond elaborado por la rama de producción nacional, fabricado por Carvajal, es similar al Papel Bond originario de Brasil, fabricado por Suzano Papel e Celulose. Para llevar a cabo dicha determinación, se tomó en cuenta la evaluación técnica realizada por el Grupo de Registro de Productores de Bienes Nacionales, la cual abarcó aspectos tales como la similitud en: (i) el nombre técnico; (ii) subpartidas arancelarias; (iii) el proceso productivo; (iv) el gramaje; (v)

la presentación del producto; (vi) su normatividad técnica; y (vii) los usos y aplicaciones entre el Papel Bond nacional, y el importado de Brasil.

Pese a lo establecido por la Autoridad Investigadora, en el marco de las audiencias realizadas, algunos intervinientes argumentaron que el Papel Bond nacional y el importado no son similares porque parten de materias primas y niveles de calidad diferentes. Frente a ello, se estableció que la celulosa, presente en toda materia de origen vegetal, constituye la base de las fibras empleadas en la fabricación de Papel Bond.

Así, en algunas intervenciones se expuso que el uso de materias primas diferentes resulta en productos diferentes, es decir, no similares. Adicionalmente, se ha afirmado en marco de la investigación que, esta diferencia deriva del tamaño de la fibra del eucalipto al ser comparada con la de la fibra del bagazo de caña.

Ahora bien, a continuación, se aporta información técnica y científica que da cuenta de la similitud de las materias primas, así, como su uso indistinto en la fabricación de Papel Bond generando así un producto similar.

1.1. Estudio realizado por Peter W. Hart y Ricardo B. Santos

Como anexo 1, se adjunta el estudio titulado “*Cambio de panorama de la fibra corta: una revisión de la revolución del eucalipto*”. Este documento concluye que:

*“las plantaciones de eucalipto se utilizan como fuente de **fibra corta** para la fabricación de papel desde hace más de 40 años. El desarrollo de la mejora genética y los programas clonales han producido plantaciones de densidad mejorada que han dado lugar a eucaliptos de crecimiento rápido y mayor volumen de fibra, convirtiéndose **en la fuente de fibras cortas más utilizada en el mundo**.”* (Sin negrilla y subrayado en original)

Este artículo, da cuenta de que la fibra de eucalipto, así como la fibra del bagazo de caña es una **fibra corta**. Lejos de lo afirmado en algunas intervenciones realizadas en marco de la investigación, el eucalipto no corresponde a una fibra larga, sino a una fibra corta, ampliamente reconocida como tal en la industria papelera internacional.

1.2. Estudio realizado por Bárbara Pereira y Valdeir Arantes (Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil)

Como anexo 2 se presenta el estudio titulado “*Nanocelulosas a partir de biomasa de caña de azúcar*”. Este documento establece que la celulosa, componente esencial del bagazo de caña, es un biopolímero natural cuya aplicación resulta de suma utilidad en procesos industriales:

“La celulosa ha atraído desde hace tiempo el interés industrial, ya que es un biopolímero natural muy versátil con aplicaciones bien establecidas en muchas industrias (por ejemplo, pulpa y papel, textil, farmacéutica, cosmética y alimentación animal)”

Este documento demuestra la utilidad del bagazo de caña de azúcar como fuente de celulosa en procesos industriales. Los datos técnicos del Cuadro 9.1 confirman que la fibra del bagazo de caña presenta un tamaño de 1,0 a 1,5 mm, lo que la ubica también en la categoría de fibras cortas, con características comparables a las de la madera dura como el eucalipto.

Con el propósito de reforzar los argumentos técnicos expuestos y respaldar con evidencia objetiva la similaridad entre la fibra de eucalipto y el bagazo de caña de azúcar, se anexa el *Cuadro 9.1*, contenido en el estudio, el cual recopila las propiedades típicas promedio de la celulosa proveniente de distintas fuentes vegetales (bagazo de caña de azúcar, maderas duras y maderas blandas).

Ilustración 1

CUADRO 9.1 Propiedades típicas promedio de la celulosa de bagazo de caña de azúcar, madera dura y madera blanda

Fuente de celulosa	MW (g/mol)	Tamaño de la fibra (mm)	GP	Diámetro (µm)	ICr (%)
Bagazo de caña de azúcar	157.800-168.000	1,0-1,5	974-1039	20	56,7
Madera dura	648.000-891.000	1,25	4000-5500	25	54
Madera blanda	648.000-891.000	3,0	4000-5500	30	57

ICr: índice de cristalinidad; GP: grado de polimerización; MW: peso molecular.

Los valores se basan en [Bezerra y Ragauskas \(2016\)](#) y [Hurter \(2001\)](#) para la celulosa de bagazo de caña de azúcar, y

Así pues, podemos ver como el tamaño de la fibra de bagazo de caña de azúcar, es comparable con la fibra de madera dura, es decir, se trata en ambos casos de fibra corta.

1.2.1. Estudio realizado por Isabel Carrillo, Claudia Vidal, Juan P. Elissetche y Regis T. Mendonça

Como anexo 3, se remite el estudio titulado “*Propiedades anatómicas y químicas de la madera relacionadas con la pulpabilidad del Eucalyptus globulus: una revisión*”, el cual concluye:

“El Eucalyptus globulus es una de las especies de madera dura más importantes utilizadas por la industria de la pulpa y el papel debido a su alto rendimiento de la pulpa, alta densidad de la madera, excelente calidad de la fibra y buenas propiedades de la hoja de prueba.” (Sin negrilla y subrayado en original)

Este estudio confirma que las propiedades anatómicas y químicas del eucalipto lo convierten en una **madera dura**, por o que es una fuente idónea de **fibra corta** para la producción de pulpa celulósica. En efecto, al compararse con los valores técnicos contenidos en la lustración 1 se observa que la fibra de madera dura (incluyendo el eucalipto) presenta un tamaño promedio de 1,25 mm, lo que la ubica dentro de la categoría de fibras cortas, mientras que la madera blanda alcanza longitudes cercanas a los 3,0 mm (fibras largas).

Así pues, la evidencia científica y técnica demuestra que tanto la fibra de eucalipto (madera dura) como el bagazo de caña de azúcar son **fibras cortas** con características semejantes (longitud de 1,0 a 1,5 mm en el bagazo y de 1,25 mm en el eucalipto). Ambas constituyen materias primas idóneas para la fabricación de papel bond, lo que refuerza de manera objetiva la similaridad entre el producto nacional y el producto importado.

1.3. Caracterización del producto

En el marco de las afirmaciones realizadas por las partes interesadas, como ha sido expresado a través de distintos memoriales en ocasiones previas, CADENA ha intervenido con miras a la desvirtuación de la similaridad entre el Papel Bond de fabricación nacional, y el Papel Bond

importado originario de Brasil. No obstante, con el fin de desvirtuar tales argumentos, es preciso señalar que en diferentes oportunidades CADENA ha incurrido en un error conceptual al confundir el Papel Bond con el papel esmaltado o con acabado.

Debe resaltarse que dichas tipologías de papel presentan características técnicas claramente diferenciadas y, además, cuentan con una clasificación arancelaria distinta, lo que impide equipararlas dentro del marco de la presente investigación.

1.1.2 Caracterización del Papel Bond (BOND/OFFSET) y Papel para impresión digital, y el papel INKJET (papel esmaltado) como productos diferentes

Como anexo 4 al presente documento, se presenta un resumen de la denominación comercial que se le puede dar a los productos producidos por Carvajal, SYLVAMO y SUZANO, y la equivalencia entre estos.

En efecto, existe la denominación Papel Bond como nombre genérico en donde se clasifican tanto el Papel Bond, el Papel Offset (blanco y no blanco) y el Papel para impresión digital (la impresión digital puede ser impresión Inkjet o impresión Láser). Como se puede observar, contrario a lo afirmado por algunos intervinientes, el Papel Bond producido por Carvajal tiene su equivalencia (de acuerdo con sus características físico-químicas) con los productos importados.

Ilustración 2 – Anexo 4

	Tipo de Papel	BOND / OFFSET		PARA IMPRESIÓN DIGITAL		OFFSET NO BLANCO
	Color	Blanco		Blanco		Crema, Beige, Natural
	Tipo de Impresión	Impresión Offset y Flexográfica		Impresión Inkjet	Impresión Láser	Según Proveedor
CARVAJAL PULPA Y PAPEL	Marca	PropalBond	PropalOffset	PropalFormas (Láser)		Earth Pact Natural Offset Earth Pact Natural Formas Láser
	Usos	Cuadernos, agendas, blocs, libros, cartillas, informes, formularios, volantes	Libros (textos y editoriales), revistas, material promocional, catálogos	Formatos con impresión fija y variable como extractos, facturas, también libros, pruebas de conocimiento, material electoral, material promocional, revistas.		EP Nat Offset = PropalBond y PropalOffset IMPRESIÓN: Offset y Flexografica EP Nat Formas Láser = PropalFormas Laser IMPRESIÓN: Laser e Inkjet
	Fuente	https://www.propal.com.co/papel-para-artes-graficas				
SYLVAMO	Marca	Offset Chambрил	Chambрил Book	Chambрил Digital	Chambрил Laser	Chambрил Avena
	Usos	Libros, Revistas, Cuadernos, agendas, blocs, folletos, calendarios, carteles, tabloides, informes anuales, correo directo, formularios continuos y sobres.		Impresos en general y datos variables en equipos a base de tinta inkjet pigmentada	Pre-impresos con posterior personalización láser e impresión láser en general.	Libros, informes y materiales impresos en general. IMPRESIÓN: Offset y Flexográfica
	Fuente	https://www.sylvamo.com/mx/es/nuestras-marcas/chambрил https://www.portalchambрил.com.br/produtos/				
SUZANO	Marca	Paperfect	Alta Alvura Alcalino	Alta Alvura Laser Laser Paperfect		Polen (Natural y Bold)
	Usos	Cuadernos, Agendas, Libros, prospectos, Embalaje ligero, Informes, Carpetas, Formularios, Catálogos,	Libros y contenido editorial, Cuadernos, Formularios, prospectos, Catálogos, Embalaje ligero, Materiales promocionales	Libros y contenido editorial, Formularios, Catálogos, Embalaje ligero, Materiales promocionales		Libros editoriales, cuadernos, agendas y libretas IMPRESIÓN: No especificada
	Fuente	https://www.suzano.com.br/produtos-e-marcas/papel/nao-revestidos				

Se trate de la denominación Papel Bond, Papel Offset o Papel para Impresión Digital se trata del producto objeto de investigación, a saber, aquel clasificado bajo las subpartidas 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00.

Ahora bien, cuando se habla de Papel INKJET puede existir una confusión, al pensarse que se trata del papel para impresión digital en impresión inkjet. Sin embargo, se trata de productos diferentes. Por un lado, el Papel para impresión digital es un Papel Bond que se puede utilizar en impresión sea Laser o Inkjet, mientras que el producto que se denomina papel INKJET corresponde realmente a un papel esmaltado.

El anexo 5, corresponde a un estudio realizado por MITSUBISHI PAPEL MILLS LIMITED en el cual se pronuncia sobre la tecnología de impresión inkjet y el denominado papel INKJET, señalando lo siguiente:

“Los papeles esmaltados están diseñados exclusivamente para su uso con impresoras de inyección de tinta para conseguir la mejor calidad de imagen. (...) Los papeles esmaltados se clasifican en varios tipos, como “papel satinado”, “papel semisatinado” y “papel mate (no imágenes a todo color de alta definición y calidad. Los papeles satinados, que tienen la misma calidad que los papeles esmaltados, son muy brillantes. Los papeles semisatinados, que tienen la misma calidad que los papeles artísticos y los papeles esmaltados A2, son sólo ligeramente brillantes.” (Sin negrillas y subrayado en original)

Como se puede ver en el estudio, tanto el Papel Bond como el papel esmaltado pueden ser utilizados en impresión inkjet. Sin embargo, es el papel esmaltado aquel que esta diseñado especialmente para esta técnica de impresión, razón por la cual, en el mercado cuando se habla de papel INKJET se entiende que se trata de un papel esmaltado y no de un Papel Bond.

No puede entonces, como lo pretende hacer algunos intervinientes, confundir la técnica de impresión (impresión inkjet) con la denominación propia del papel. Toda vez que, si bien el Papel Bond como el papel esmaltado son utilizados en impresión digital (en particular impresión inkjet) solo el papel esmaltado es denominado como papel INKJET.

Esta diferencia no es menor, toda vez que, de acuerdo con el texto de la partida 4802 en esta se clasifica el papel **sin estucar ni recubrir** (también denominados papeles esmaltados), mientras que, los papeles esmaltados se clasifican bajo la subpartida 4810 o 4811.

Sobre este punto, debemos advertir que, en la base de datos pública de importaciones de Legiscomex se ha identificado que CADENA ha importado papel estucado o papel esmaltado bajo la subpartida 4802.55.90.00, lo cual no solo una incorrecta clasificación arancelaria que debería ser investigada por la DIAN, sino que puede llegar a explicar la confusión de CADENA en relación con el producto objeto de investigación.

Como se puede observar en la siguiente tabla, CADENA ha declarado algunas importaciones de papel esmaltado, el cual se puede identificar fácilmente puesto la descripción señala que se trata de papel estucado, bajo la subpartida arancelaria 4802.55.9000 que corresponde a Papel Bond:

Tabla 1 Importaciones de CADENA de papel esmaltado clasificado bajo la partida 4802

Fecha de Presentación	Número de declaración (llave)	Número del preimpreso	NIT del Importador	Razón Social del Importador	Código Partida	Descripción de la partida arancelaria	Descripción de la mercancía
1/03/2024	07843261346478	352024000114625	890930534	CADENA S. A.	4802559000	Los demás papeles y cartones, sin fibras obtenidas por procedimiento mecánico o químico-mecánico o con un contenido total de estas fibras inferior o igual al 10% en peso del contenido total de fibra,	DO: M0281498MDE-BUN PEDIDO NRO OC 116238 - BL COSU 6374515930 - FACTURA 010118 DECLARACION 1 de 1 // TC EURO 1,08230 // NOS ACOGEMOS AL DECRETO N.º 2247 DE 2014, MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO; AUTORIZACION ADUANERA N.º DE/2600/EA/0509 // Nro. Factura 007008 - 31/01/2024 - - ITEM NRO 1 PRODUCTO: PAPEL, CONTENIDO DE FIBRA: 100% DE FIBRA QUÍMICA, TIPO DE ACABADO: ESTUCADO, USO NO GOFRADO, CONTENIDO DE CENIZAS EN PORCENTAJE: 20%, FACTOR DE REFLECTANCIA: 91% - 94%, FORMA DE PRESENTACION: ROLLO O BOBINA, DIMENSIONES: ANCHO 45,7 CM, DI/METRO 100 CM, PESO 377,41 KG APROX, GRAMAJE: 115 G/M2, USO: PAPEL PARA IMPRESIÓN, MARCA: CROWN VAN GELDER // WITH COLORPRO TECHNOLOGY, GRADOCROWN LETSGO BRIGHT SILK 3RD GEN 115, MILL REF 12303201, GRAMAJE 115 G/M2, SPEC. REF. 177220, ANCHO 457 MM, WIRE / FELT F SIDE OUT, SPLICES PATCH 0, LOCATION L, CORE 076 MM, FSC MIX CU-COC-894299 // PAIS DE ORIGEN PAISES BAJOS(HOLANDA,CODIGO PAIS : 573 - CANTIDAD 23.4 - Tonelada metrica ...
2/11/2024	91035025160111	352024000565740	890930534	CADENA S. A.	4802559000	Los demás papeles y cartones, sin fibras obtenidas por procedimiento mecánico o químico-mecánico o con un contenido total de estas fibras inferior o igual al 10% en peso del contenido total de fibra,	DO: M0296164MDE-BUN PEDIDO NRO OC 118188 DECLARACION 1 de 1 /LEGALIZACION POR MERCANCIA NO DESCRITA EN BL/ Nro. Factura 2024-010861 - 02/09/2024 - - ITEM NRO 1 PRODUCTO: PAPEL, CONTENIDO DE FIBRA: 100% DE FIBRA QUÍMICA, TIPO DE ACABADO: ESTUCADO, USO NO GOFRADO, CONTENIDO DE CENIZAS EN PORCENTAJE: 20%, FACTOR DE REFLECTANCIA: 91% - 94%, FORMA DE REPRESENTACION: ROLLO O BOBINA, DIMENSIONES: ANCHO 45,7 CM, DI/METRO 100 CM, PESO 364-373 KG APROX, GRAMAJE: 90 GRS, USO: PAPEL PARA IMPRESIÓN, MARCA: CROWN VAN GELDER /PRODUCT No. 123/DESCRIPTION: CROWN LETSGO BRIGHT SILK 03rd gen. 90 Label marking: Cadena/118188/INFORMACIÓ N FÍSICA ENCONTRADA: CUST. REF. 007538/ MILL REF. 30209421/SPEC.REF. 177210/HECHO EN PAISES BAJOS/ GRADE CROWN LETSGO BRIGHT SILK 3RD GEN 90, GRAMMAGE 609/90 G/M2, ANCHO 457 MM, WIRE / FELT F SIDE OUT, SPLICES 0 PATCH 0, LOCATION L, CORE 076 MM, FSC MIX CU-COC-894299/ PAIS DE ORIGEN PAISES BAJOS(HOLANDA,CODIGO PAIS : 573 - CANTIDAD 48.724 - Tonelada metrica ...
2/11/2024	91035025160111	352024000565740	890930534	CADENA S. A.	4802559000	Los demás papeles y cartones, sin fibras obtenidas por procedimiento mecánico o químico-mecánico o con un contenido total de estas fibras inferior o igual al 10% en peso del contenido total de fibra,	DO: M0296164MDE-BUN PEDIDO NRO OC 118188 DECLARACION 1 de 1 /LEGALIZACION POR MERCANCIA NO DESCRITA EN BL/ Nro. Factura 2024-010861 - 02/09/2024 - - ITEM NRO 1 PRODUCTO: PAPEL, CONTENIDO DE FIBRA: 100% DE FIBRA QUÍMICA, TIPO DE ACABADO: ESTUCADO, USO NO GOFRADO, CONTENIDO DE CENIZAS EN PORCENTAJE: 20%, FACTOR DE REFLECTANCIA: 91% - 94%, FORMA DE REPRESENTACION: ROLLO O BOBINA, DIMENSIONES: ANCHO 45,7 CM, DI/METRO 100 CM, PESO 364-373 KG APROX, GRAMAJE: 90 GRS, USO: PAPEL PARA IMPRESIÓN, MARCA: CROWN VAN GELDER /PRODUCT No. 123/DESCRIPTION: CROWN LETSGO BRIGHT SILK 03rd gen. 90 Label marking: Cadena/118188/INFORMACIÓ N FÍSICA ENCONTRADA: CUST. REF. 007538/ MILL REF. 30209421/SPEC.REF. 177210/HECHO EN PAISES BAJOS/ GRADE CROWN LETSGO BRIGHT SILK 3RD GEN 90, GRAMMAGE 609/90 G/M2, ANCHO 457 MM, WIRE / FELT F SIDE OUT, SPLICES 0 PATCH 0, LOCATION L, CORE 076 MM, FSC MIX CU-COC-894299/ PAIS DE ORIGEN PAISES BAJOS(HOLANDA,CODIGO PAIS : 573 - CANTIDAD 48.724 - Tonelada metrica ...

Esto, demuestra la falta de conocimiento por parte de CADENA en relación con la clasificación arancelaria de la mercancía, y el error de entendimiento que ahora se busca aclarar.

Aunado a lo anterior, se tiene que la misma DIAN ha clasificado el denominado papel INKJET bajo una partida diferente a la 4802, a saber, la 4810. En efecto, la DIAN mediante la Resolución 9093 de 2012 (anexo 6) clasificó un producto denominado como papel INKJET bajo la subpartida 4810.14.90.00:

“Que por las características de rápida absorción y fijación de la tinta, **el papel se utiliza en las impresoras inkjet o impresoras para fotografías, destinadas a la impresión de imágenes por medio de inyección de tinta, la cual se obtiene de unos cartuchos, el cabezal de impresión se mueve de un lado a otro, depositando sobre el papel minúsculas gotas de tinta con lo que se va formando la imagen.**

(...)

Que de acuerdo con lo anterior, **arancelariamente el producto corresponde a papel para imprimir**, con recubrimiento por una de sus caras con sustancias inorgánicas, presentado en hojas.” (Sin negrilla y subrayado en original)

Así pues, la DIAN concluyó que, el denominado papel INKJET no es sujeto de clasificarse bajo la partida 4802, puesto tiene un recubrimiento (estucado o esmaltado) que excluye su clasificación bajo esta partida arancelaria.

Lo anterior, refuerza lo que ha señalado Carvajal, por cuanto que, la investigación se limita al Papel Bond, el cual puede denominarse como Papel Bond, Papel Offset, o Papel para impresión digital (tecnología inkjet o laser), el cual es diferente al papel que se denomina comercialmente como papel INKJET el cual corresponde a papel esmaltado que no se clasifica bajo las subpartidas arancelarias objeto de investigación.

1.4. Uso de fibra de eucalipto por parte de Carvajal para la producción de Papel Bond

Como se ha establecido anteriormente, el Papel Bond sobre el que versa la presente investigación, puede ser elaborado mediante materias primas correspondientes al bagazo de caña o a la fibra de eucalipto, siendo estas materias primas intercambiables que producen un producto similar. Es tan así, que Carvajal, por su parte, ha hecho uso de eucalipto en la producción del Papel Bond.

En el anexo 7 se exponen múltiples facturas comerciales por medio de las cuales Carvajal ha adquirido de diferentes proveedores eucalipto como materia prima para la fabricación del Papel Bond. El cual es utilizado en momentos de escasez de bagazo de caña de azúcar, por cierres en los ingenios productores o en momentos que se requiera garantizar la disponibilidad de la materia prima.

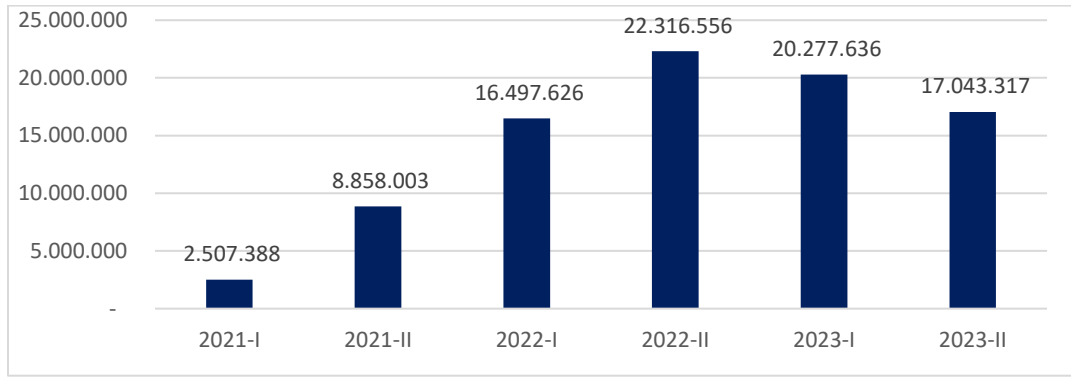
Lo anterior, es evidencia de cómo se trata de materias primas intercambiables, que no generan un producto diferente. Toda vez que, con independencia de la utilización de bagazo de caña o eucalipto, Carvajal produce Papel Bond con las mismas características técnicas, garantizando de esa manera uniformidad en el producto vendido.

2. Atención al mercado

En relación con las ventas del 2023-I vs los semestres anteriores, y las razones de porque la caída en el mercado doméstico por parte de Carvajal valga señalar que en el año 2022 Smurfit Kappa (en adelante “Smurfit”) dejó de abastecer al mercado nacional. Al mismo tiempo, las importaciones durante ese periodo crecieron de forma desproporcionada, más que triplicando lo que se importó en el 2022.

En efecto, tras la salida de Smurfit las importaciones de Papel BOND se incrementaron de 8.858.003 kg en 2021-II a 22.316.556 KG en 2022-II. Este incremento no se debe a la incapacidad de Carvajal de atender la demanda nacional, sino que obedece a los precios de dumping a los que se empezó a importar el producto objeto de investigación.

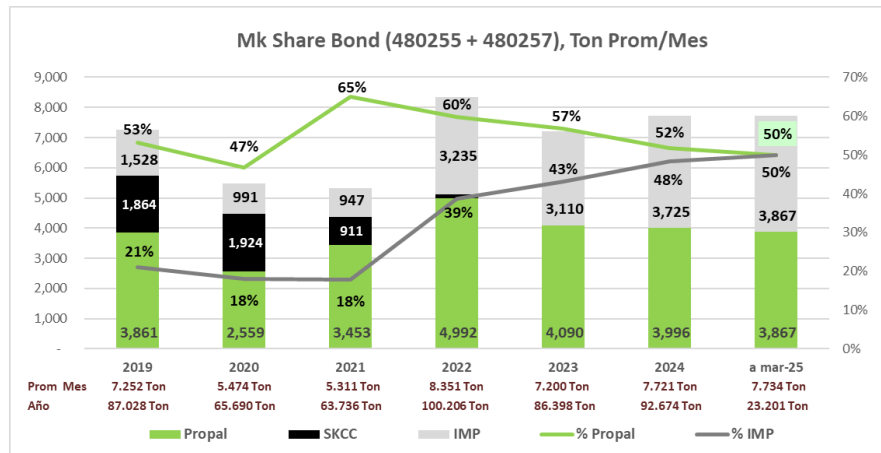
Gráfica 1 Kg Importaciones Papel Bond – 2021-I a 2023-II



Fuente: Creación propia a partir de información de Legicomex.

Este aumento desmesurado de las importaciones, impacto de manera negativa la atención del mercado nacional por parte de Carvajal, puesto que, el número de importaciones realizadas en el 2022 generaron un *super habit* de inventario en el mercado doméstico lo que causo que las ventas de Carvajal se vieran contraídas. Ya para el segundo el 2023-II, el mercado estaba retomando a su normalidad y las ventas de Carvajal en el mercado nacional se normalizaron.

Gráfica 2 Participación en el mercado de Smurfit y Carvajal



Fuente: Creación interna por parte de Carvajal derivado de estudio de mercado.

Así, es posible evidenciar que, tras la salida de Smurfit del mercado, Carvajal adquirió la presencia única en el mercado, compitiendo únicamente con las importaciones de Papel Bond provenientes de Brasil, las cuales, como se ha demostrado anteriormente se realizan a precios de dumping, lo cual ha impedido que Carvajal lograra sumir la porción del mercado que dejó de atender Smurfit.

3. Comentarios en relación con el daño en la rama de producción nacional

En virtud de lo establecido mediante la Resolución No. 131 del 3 de junio de 2025, la autoridad investigadora ha determinado que existen indicios de un daño importante en diversas variables económicas de Carvajal, como lo son:

“volumen de producción orientada al mercado interno, volumen de ventas nacionales, participación de las importaciones investigadas con respecto al volumen de producción, uso de la capacidad instalada, productividad, precio real implícito, participación de las ventas de la peticionaria con respecto al consumo nacional aparente, participación de las ventas nacionales de la peticionaria con respecto al consumo nacional aparente y participación de las importaciones investigadas con respecto al consumo nacional aparente. Con respecto a las variables financieras, se presentaron indicios de daño en el margen de utilidad bruta, el margen de utilidad operacional, ingreso por ventas nacionales, utilidad bruta, utilidad operacional y el valor del inventario final del producto terminado.”

Dicha determinación resulta fundamental a la hora de entender y dimensionar el actual comportamiento en el mercado por parte de Carvajal, en la medida en que, su operación ordinaria ha sido fuertemente afectada por el daño producido por parte de las importaciones realizadas a precio de dumping.

Ahora bien, en el marco de la investigación en curso se han realizado diversas intervenciones asegurando que Carvajal no cuenta con la capacidad de atender el mercado doméstico. Esta afirmación no solo carece de fundamento, sino que, desconoce los efectos de daño reconocidos en el marco de la investigación, los cuales han incidido directamente en la operación de la empresa.

Por una parte, se ha demostrado que Carvajal sí cuenta con la capacidad de suplir y satisfacer la demanda existente, pese a que naturalmente su operación se ve afectada por la situación de daño existente. En ese sentido, sostener que Carvajal carece de capacidad operativa con base únicamente en la “no atención” de un pedido aislado, desconoce la realidad de la investigación que ha sido adelantada.

En particular, si dicho pedido no reconoce las fechas de corte de recepción de órdenes de compra de Carvajal, que se han establecido para la correcta planeación de la producción mensual de Carvajal.

Con el fin de aportar al expediente pruebas que permiten respaldar estas afirmaciones, en el anexo 9 se hace entrega de diferentes comunicaciones por vía de correo electrónico, mediante las cuales se acredita que la “no atención” por parte de Carvajal a determinados pedidos no responde a un incumplimiento deliberado o a la incapacidad de satisfacer la demanda del mercado. Por el contrario, responde al curso ordinario de la operación de la empresa, teniendo en cuenta las circunstancias externas que han generado un daño en la misma. A modo de ejemplo, podemos ver como la compañía CADENA hace solicitudes de órdenes de compra con fecha posterior a la fecha de corte, para este caso, se puso una orden de compra el 28 de febrero, cuando la fecha de corte es entre el 15 y el 20 de cada mes.

Es decir, para la correcta planeación de la producción por parte de Carvajal, esta les pide a sus clientes que se hagan los pedidos antes de esta fecha de corte. En el evento que se reciban los pedidos por fuera de esta fecha, es natural que los mismos no se puedan cumplir.

Ilustración 3

De: Alexander Sanchez Perdomo <alexander.sanchez@cadena.com.co>

Enviado el: viernes, 28 de febrero de 2025 11:25 a. m.

Para: Rey Henao Diana Carolina <Diana.Rey@carvajal.com>

Asunto: Orden de compra 122476 - Cadena Yumbo

Buendía Diana

Te envío nuevo pedido para entrega en nuestra planta de Yumbo.

Por favor confirmar recibido.

cadena.

Alexander Sanchez Perdomo

Negociador

57 (2) 609 6060 Ext. 635

alexander.sanchez@cadena.com.co

Carrera 34 #13a – 87

Acopi – Yumbo

www.cadena.com.co

Como evidencia de la fecha de corte de pedidos y la labor de Carvajal de informarle a sus clientes sobre esta, se presenta el anexo 9 en el que se han recolectado algunos de los correos electrónicos utilizados para informar a los clientes de Carvajal sobre la fecha de corte de recepción de pedidos durante el periodo de la investigación.

Con lo anterior, se evidencia como, los caso sen los que Carvajal no ha podido atender pedidos puntuales responde a la falta de cumplimiento de clientes como CADENA de los procedimientos establecidos para la recepción de pedidos.

III. SOLICITUD

ÚNICA. Se tengan como pruebas incorporadas al expediente, los documentos anexos al presente.

IV. CONFIDENCIALIDAD

Se aportan como documentos confidenciales las facturas mediante las cuales Carvajal ha adquirido pulpa de eucalipto. Esta información corresponde a información confidencial de la empresa, que no es susceptible de resumen, al ser información específica y concreta de precios de compra de materia prima. En ese sentido, es información que goza de reserva y que en ningún momento puede trascender a ser conocida por los competidores, partes interesadas o público en general, conforme al artículo 61 del Código de Comercio, numeral 2 del artículo 39 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio – ADPIC, vinculante en Colombia por mandato de la Ley 170 de 1994, el artículo 260 de la decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina de Naciones y el numeral 6 del artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo

V. ANEXOS

- **Anexo 1** – Estudio realizado por Peter W. Hart y Ricardo B. Santos
- **Anexo 2** – Estudio realizado por Bárbara Pereira y Valdeir Arantes (Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil)
- **Anexo 3** – Estudio realizado por Isabel Carrillo, Claudia Vidal, Juan P. Elissetche y Regis T. Mendonça
- **Anexo 4** – Tabla comparativa referencias nacionales e importación
- **Anexo 5** – Artículo realizado por MITSUBISHI PAPEL MILLS LIMITED sobre los diferentes tipos de papel, según sus características técnicas para la impresión mediante la inyección de tinta
- **Anexo 6** - Resolución 9093 de 2012 mediante la cual se clasifica bajo la subpartida 4810.14.90.00 un producto denominado como “Papel para impresión inkjet sensibilizado para fotografía”
- **Anexo 7** - Facturas comerciales por medio de las cuales Carvajal ha adquirido de diferentes proveedores eucalipto como materia prima para la fabricación del Papel Bond.
- **Anexo 8** - Gráfica de consumo aparente detallando la participación en el mercado tras la salida de Smurfit Kappa.
- **Anexo 9** - Comunicaciones por vía de correo electrónico entre Carvajal y algunos clientes.

Del señor Director,



GERARDO CHADID SANTAMARIA
C.C. No. 1.143.333.174
T.P. 217.857

Yo, Carlos Julio Carrero, el abajo firmante, Traductor Oficial Inglés – Español en y para la República de Colombia, según Certificado Profesional No. 0314 de fecha 14 de septiembre de 2010; por medio del presente CERTIFICO que me fue entregado un documento en idioma inglés, cuya traducción consta en las siguientes nueve (8) páginas.

La traducción que sigue a continuación es una traducción fiel al idioma español del documento adjunto, la cual ha sido realizada a petición de la parte interesada. En fe de lo cual, estampo mi sello y firma a continuación en la ciudad de Bogotá en este día 4 de septiembre del 2025.

Carlos Julio Carrero

Traductor Oficial No. 0314



Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

Cambio de panorama de la fibra corta: una revisión de la revolución del eucalipto

PETER W. HART Y RICARDO B. SANTOS

RESUMEN: las plantaciones de eucalipto se utilizan como fuente de fibra corta para la fabricación de papel desde hace más de 40 años. El desarrollo de la mejora genética y los programas clonales han producido plantaciones de densidad mejorada que han dado lugar a eucaliptos de crecimiento rápido y mayor volumen de fibra, convirtiéndose en la fuente de fibras cortas más utilizada en el mundo. La alta productividad y los cortos períodos de rotación, junto con la uniformidad y la mejor calidad de la madera de las plantaciones clonales, han atraído la inversión de la industria privada a las plantaciones de eucalipto. En la actualidad, sólo se utiliza un puñado de especies o híbridos en las plantaciones. Se están evaluando muchas más especies para mejorar las propiedades de la fibra o ampliar la gama de plantaciones de eucalipto. Las plantaciones de eucalipto se realizan con frecuencia en terrenos no boscosos y pueden utilizarse, en parte, como medio para conservar los bosques autóctonos y, al mismo tiempo, permitir la producción de fibra de alta calidad para usos económicos. Por último, las plantaciones de eucalipto pueden proporcionar importantes sumideros de carbono, que pueden utilizarse para ayudar a compensar el carbono liberado por la quema de combustibles fósiles. El desarrollo y la expansión de las plantaciones de eucalipto representan una revolución sustancial en la fabricación de pulpa y papel.

Aplicación: al conocer los avances en materia de mejora genética y clonación que se han producido en el pasado y los resultados de dichos avances, la industria puede estar mejor equipada para avanzar rápidamente en la siguiente fase del progreso del eucalipto.

Los eucaliptos son una importante fuente de materia prima para la industria de la pulpa y el papel. Desde finales de los años sesenta, se vienen realizando esfuerzos de selección para mejorar la calidad del eucalipto [1]. En las últimas cuatro décadas, los avances en genética, cultivo de plantaciones y técnicas de gestión clonal han mejorado sustancialmente la productividad y la calidad de varias especies de eucalipto [2]. El rápido crecimiento de los eucaliptos y la menor duración de la rotación (menos de 7 años de rotación para los eucaliptos en comparación con los 12-21 años para las especies de pinos) han hecho que estas especies sean deseables para el desarrollo de plantaciones [3]. El eucalipto se está convirtiendo en una de las fuentes de fibra más importantes para la fabricación de papel en todo el mundo. En 2015, se preveía que la producción de pulpa del mercado alcanzaría los 70 millones de toneladas, de las que unos 35 millones procederían de maderas duras y más del 50 % de eucaliptos [4]. Estimaciones más recientes y la puesta en marcha de una línea de producción de CMPC de 1,3 millones de toneladas métricas anunciada para 2015 y las dos puestas en marcha de las fábricas OKI APP (2 millones de toneladas métricas) y Klabin Origueira (1,5 millones de toneladas métricas) anunciada para 2016 sugieren que la marca de 70 millones de toneladas métricas no se alcanzará hasta 2016, en donde cerca del 58 % de la fibra corta provendrá del eucalipto [5].

Los eucaliptos son originarios de Australia, Tasmania y

algunas de las islas circundantes. Aunque se conocen más de 600 especies de eucalipto, sólo un puñado de ellas se utilizan habitualmente en plantaciones tropicales y subtropicales. Estas especies de importancia comercial incluyen *E. camaldulensis*, *E. dunni*, *E. grandis*, *E. nitens*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. pellita*, y *E. tereticornis* [6].

Los eucaliptos pueden producir híbridos interespecíficos comercialmente deseables. Hoy en día, probablemente el más común en la aplicación comercial es el *E. urograndis* (*urophylla* x *grandis*). Los híbridos se utilizan en la mayoría de las plantaciones comerciales de Brasil, Sudáfrica y el Congo [1]. Los programas habituales de mejora genética han seleccionado variedades con un alto rendimiento dentro de la plantación, una resistencia a las principales plagas y enfermedades, un alto rendimiento de pulpa y una densidad aparente razonablemente alta [1]. Recientemente, los programas de mejora genética también han intentado producir materias primas para la fabricación de pulpa que produzcan pulpas con mejores propiedades clave para la fabricación de papel, como el volumen, la opacidad, la formación, la suavidad, la porosidad, la tersura, la absorbencia y la estabilidad dimensional [7].

Además de la pulpa y el papel y los usos energéticos, los eucaliptos se utilizan mucho en otras industrias forestales. Los eucaliptos se han utilizado con éxito en Brasil para producir carbón vegetal destinado a la fundición de hierro y acero y para fabricar paneles de madera, incluidos paneles de

fibra de baja y media densidad, paneles de fibra orientada y madera contrachapada. A partir de las plantaciones de eucalipto también se fabrican productos de madera con valor añadido, como puertas y ventanas y muebles [8].

Se están realizando importantes esfuerzos para ampliar el área de las plantaciones operativas de eucalipto. Estos esfuerzos incluyen programas de cultivo selectivo para mejorar la tolerancia al frío y la introducción de especies más resistentes al frío como *E. nitens*, *E. smithii*, *E. maidenii*, *E. camaldulensis*, *E. ampifolia*, *E. dunni*, y *E. benthamii*, entre otras [1, 9, 10]. Estos programas se centran principalmente en el centro-sur de China [10], en las zonas de mayor altitud de Brasil [9] y en el sur de Estados Unidos, desde Florida hasta Texas [11, 12].

La expansión de las plantaciones de eucalipto en regiones templadas y subtropicales propensas a temperaturas bajo cero no siempre ha sido fácil. Al igual que en muchas regiones tropicales, existe la preocupación pública de que las plantaciones de monocultivos sustituyan los rodales autóctonos por especies no autóctonas posiblemente invasoras y de que el uso extensivo de árboles híbridos o modificados genéticamente tenga importantes repercusiones medioambientales y ecológicas en las nuevas zonas que se están abriendo para las plantaciones de eucalipto [13, 14]. El uso excesivo de agua es una posible preocupación adicional de las plantaciones de eucalipto [13, 14]. Una investigación exhaustiva ha demostrado que muchas de las preocupaciones medioambientales son relativamente menores y ha identificado prácticas de gestión que minimizarán o eliminarán los riesgos de impactos negativos. Muchos ecologistas pregonan ahora las virtudes de las plantaciones de eucalipto como medio para proteger los rodales autóctonos, manteniendo así la biodiversidad, y como posible sumidero de carbono capaz de secuestrar una cantidad significativa de gases de efecto invernadero [15]. El eucalipto también se cultiva como fuente de biomasa de rotación corta y neutra en carbono para la producción de energía y productos químicos [16].

MEJORA GENÉTICA Y EXPANSIÓN DE LAS PLANTACIONES DE EUCALIPTO

Los programas de mejora genética del eucalipto se iniciaron a finales de la década de 1960 en Brasil, Portugal y el Congo, y se extendieron a Tailandia en la década de 1970 [17]. Los primeros informes sobre ensayos de procedencia del eucalipto como especie exótica se presentaron a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y se referían a ensayos iniciados en los años sesenta con semillas recogidas en Australia a principios de los años sesenta. Desde entonces se ha avanzado mucho en la mejora genética del eucalipto para plantaciones de pulpa y papel.

Además del cultivo selectivo tradicional, el eucalipto se presta para programas de hibridación interespecífica. Los eucaliptos se adaptan bastante bien a la formación de híbridos interespecíficos. Varias de las especies son

genéticamente próximas y con frecuencia producen híbridos naturales. Los cruces naturales en arboretos y plantaciones han producido razas terrestres híbridas vigorosas y bien adaptadas. Gracias a la mejora de las técnicas clonales, las grandes empresas de productos forestales de muchos países pudieron desarrollar rápidamente plantaciones clonales de árboles híbridos superiores. Gracias a las prácticas actuales de inducción floral y cruzamientos controlados, se están produciendo mejoras continuas de los árboles en cuanto a rendimiento, propiedades físicas y otras características deseables para su uso en plantaciones.

Los avances en los métodos de plantación también han permitido aumentar la producción de madera y reducir los tiempos de rotación. El uso de la regeneración por rebrote se documentó por primera vez en el Congo en 1973 [18], y Aracruz aplicaba ampliamente la técnica en Brasil a mediados de los años setenta [19]. A partir de ahí, las mejoras en el sistema de enraizamiento y el desarrollo del cultivo *in vitro* hicieron de la clonación una práctica común para los eucaliptos [20]. Otros esfuerzos clonales incluyeron el desarrollo del sistema de minicorte, que integra la multiplicación *in vitro* e *in vivo* de forma intensiva, utilizando brotes auxiliares recogidos en plántulas *in vitro* y cultivados mediante sistemas hidropónicos interiores [21].

Con el rápido ritmo de desarrollo de árboles superiores y las mejoras en la plantación y el desarrollo de plántulas, existe un debate continuo sobre el uso óptimo de clones establecidos y sistemas de rebrote en las plantaciones de eucalipto. El uso continuo del mismo clon a través del proceso de rebrote podría retrasar la introducción de especies superiores en el proceso de plantación [22]. El uso de híbridos más recientes en lugar de clones establecidos podría ser más deseable como medio para obtener ganancias rápidas o mantener o aumentar la diversidad genética en el programa clonal.

Los informes de Marruecos sugieren una producción de entre 100.000 y 200.000 cruces de *E. grandis* y *E. camaldulensis* al año [23]. Chile satisface cerca del 40 % de sus necesidades de semillas con la polinización controlada de *E. globulus* y *E. nitens* [24]. Los resultados de estos cruces a gran escala son plantaciones con una producción mejorada y el desarrollo de "árboles superiores" para la producción clonal de la próxima generación. El cruce a gran escala es ahora la práctica habitual, facilitada por las técnicas de inducción floral y la polinización controlada [25, 26].

Según un estudio de la FAO de 2005, el eucalipto es la madera dura más valiosa y plantada del mundo, con más de 18 millones de hectáreas (ha) cultivadas en 90 países [27]. En 2009, las plantaciones de eucalipto ocupaban más de 20 millones de hectáreas [28]. Los eucaliptos se cultivan ampliamente como especies exóticas para plantaciones en regiones tropicales y subtropicales de África, Sudamérica y Asia, y en regiones más templadas de Europa, Sudamérica y Norteamérica. Se cultivan como bosques naturales y como plantaciones gestionadas en regiones tropicales, subtropicales y templadas de Australia. India tenía 8 millones de hectáreas

de plantaciones, en su mayoría de baja productividad. Brasil tenía 3 millones de hectáreas de plantaciones, en su mayoría de cultivo intensivo, en el 2000. Las plantaciones brasileñas alcanzaron productividades promedio de 45-60 m³/ha/año, con algunas zonas de Brasil con un promedio de 100 m³/ha/año [29].

De los 12,75 millones de hectáreas de plantaciones de eucalipto declaradas a la FAO en 2005, unos 12 millones de hectáreas se clasificaron como bosque productivo [30]. Desde entonces, las tierras de plantación productivas se han expandido en Brasil y China [31]. Según los informes, sólo existen plantaciones productivas en 12 países. La plantación de eucaliptos se ha intensificado en los últimos años y sigue haciéndolo, sobre todo en los países tropicales. En estas regiones, se han registrado rotaciones de tan sólo 5 años, con rendimientos de hasta 70 m³/ha/año. También, se han registrado eucaliptos plantados comercialmente en el Congo, Indonesia, Malasia, Tailandia, Francia, Portugal, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Actualmente, China se ha comprometido a ampliar las plantaciones comerciales de eucalipto a un ritmo de entre 3500 y 43000 ha/año. La superficie de plantaciones en el sur de China se ha más que triplicado, pasando de 325.000 a 1,1 millones de hectáreas en 20 años. En China, se están realizando grandes esfuerzos para desarrollar especies de eucalipto tolerantes al frío para su uso en zonas de plantación a mayor altitud [10].

RIESGOS ASOCIADOS A LAS PLANTACIONES DE EUCALIPTO

Un posible riesgo asociado al desarrollo intensivo de plantaciones es la reducción de la fertilidad del suelo. Sin embargo, las plantaciones de eucalipto se establecen con frecuencia en tierras de menor calidad que han sido degradadas por malas prácticas de cosecha, agricultura, y ganadería [10, 13]. Las deficiencias de fósforo y nitrógeno pueden subsanarse mediante técnicas de fertilización utilizadas habitualmente en agricultura durante la rotación y en el momento de la replantación.

La erosión y la degradación o esterilización del suelo son otras dos preocupaciones que se han planteado contra la formación de plantaciones de eucaliptos exóticos. Varias especies de eucaliptos tienen un alto contenido de aceites en sus hojas y corteza, lo que ralentiza la descomposición de la hojarasca. Es cierto que la hojarasca de eucalipto se degrada algo más lento que la de otros árboles, pero se descompone en un plazo razonable y contribuye al enriquecimiento de materia orgánica a largo plazo [33]. Además, no se ha observado que los aceites de eucalipto inhiban otras formas de crecimiento herbáceo. De hecho, un posible problema de las plantaciones de eucalipto es que se requiere un desbroce y control de malas hierbas de forma intensiva durante los primeros 1-2 años de vida de la plantación para evitar que las malas hierbas invadan y dominen la plantación a expensas de las plántulas de eucalipto [32].

Las plantaciones de eucalipto suelen crecer en tierras que han sido degradadas por otras fuentes [33]. La aplicación limitada de fertilizantes suele funcionar bien con muchas especies de eucalipto, lo que da lugar a plantaciones vigorosas en terrenos que han estado desprovistos de otros usos. Los

eucaliptos se plantan a menudo en tierras que ya han sufrido una erosión importante y suelen utilizarse para revitalizar zonas de productividad limitada. Como en todos los tipos de plantaciones o aplicaciones agrícolas, es necesario reflexionar y planificar para que la erosión no sea importante; sin embargo, no se trata de un aspecto específico del eucalipto, sino de la utilización de prácticas agrícolas y silvícolas aceptadas.

El uso del agua es otro posible problema asociado al desarrollo intensivo de plantaciones de eucalipto. En algunas zonas se han plantado eucaliptos para mitigar los terrenos pantanosos. La mayoría de las especies de crecimiento rápido consumen más agua que las de crecimiento más lento, pero el eucalipto también es muy adaptable a la sequía. El eucalipto puede reducir su absorción de agua a medida que el suelo se seca, controlando su pérdida de agua mediante la regulación de la apertura de los estomas, los poros microscópicos del envés de sus hojas. En general, los eucaliptos utilizan menos agua por kilogramo de producción de biomasa que otras aplicaciones agrícolas. Por ejemplo, los eucaliptos utilizan unos 785 kg de agua por kilogramo de biomasa, mientras que las papas requieren unos 1000 kg de agua por kilogramo de biomasa [10]. En comparación con la mayoría de las especies arbóreas forestales, los eucaliptos suelen presentar una elevada eficiencia en el uso del agua.

A pesar del posible consumo elevado de agua, el eucalipto se considera un peligro de incendio. Los eucaliptos contienen una gran cantidad de aceites y extractos, que son altamente inflamables [34]. Se sabe que los aceites vaporizados de algunas plantaciones crean una neblina azul en el aire sobre los bosques, lo que dio lugar al nombre de árboles de goma azul para algunas especies de eucaliptos. Se han registrado casos de incendios forestales en los que los árboles han explotado. El contenido de aceite también ralentiza el proceso de descomposición de la hojarasca de los árboles, lo que aumenta aún más el potencial de incendio. En las plantaciones gestionadas de forma intensiva, esto no supone un problema especial, ya que los árboles se talan en un plazo de 5 a 7 años y la hojarasca se vuelve a arar en el suelo. Esta hojarasca suele estar compuesta por corteza, hojas, ramas y vainas [10]. Los bosques de eucalipto de California se han citado como factores que contribuyen a los frecuentes incendios forestales del estado, pero no se dispone de documentación exhaustiva que demuestre esta hipótesis [35]. Estudios recientes de modelización sugieren que las plantaciones de eucalipto con un sotobosque limitado no presentan un peligro de incendio mayor que las plantaciones de pino del sur [36].

SUSCEPTIBILIDAD A INSECTOS Y HONGOS

Aunque los eucaliptos son especies exóticas, las plantaciones de monocultivo podrían estar sujetas a plagas y enfermedades locales o introducidas. La contaminación por insectos y hongos puede reducir considerablemente la producción de madera en las plantaciones infectadas. La infestación por insectos se ha documentado en todo el mundo. Por ejemplo,

se ha demostrado que el *Helopeltis scoutrdeni* (chinche mosquito) causa graves daños en las plantaciones jóvenes del Congo [37]. El *Phoracanta semipunctata* (escarabajo taladrador del eucalipto) ataca a los árboles afectados por la sequía en las plantaciones de *E. globulus* en el área mediterránea y se ha informado de su propagación a California [38]. Se ha demostrado que el *Gonipterus scutellatus* (escarabajo holicudo del eucalipto) defolia especies comerciales en Australia, Sudáfrica y España [39].

También, se ha documentado el ataque de hongos. Se ha demostrado que el *Cryphonectria cubensis* causa canchros en los troncos de los árboles [40]. Se ha demostrado que el *Puccinia psidii*, el *Cylindrocium spp.* y el *Coniothirium spp.* causan roya en viveros [41]. El *Mycosphaerella juvenis* causa daños importantes, incluida la defoliación de especies juveniles [42].

A pesar de la miriada de plagas de insectos y hongos que son capaces de atacar las plantaciones de eucaliptos exóticos, las estrategias de control habituales, como la aplicación de productos químicos, la hibridación y los programas de cultivo selectivo, han sido capaces de producir plantaciones robustas, que han permitido que la fibra de eucalipto domine el mercado de la pulpa de fibra corta. El uso de clones resistentes a plagas y enfermedades ha sido una herramienta poderosa en el control de muchas de estas posibles plagas, aunque la base genética se reduce mediante la aplicación clonal [43]. Brasil y otras regiones han tenido un gran éxito en el uso de controles biológicos naturales para reducir el impacto de enfermedades y ataques de insectos en las plantaciones de eucalipto [44-46]. La creación de eucaliptos transgénicos, organismos modificados genéticamente (OMG), ha sido probada también, en estudios limitados y contenidos, como otro posible método de control de la susceptibilidad al ataque de parásitos [47, 48]. Sin embargo, habría que garantizar la legislación y la opinión pública [49, 50] si se adoptara el enfoque de los OMG a escala comercial.

BIODIVERSIDAD

El objetivo de las plantaciones de eucalipto es suministrar un volumen máximo de madera por hectárea, no aumentar la biodiversidad de un lugar específico. Irónicamente, se ha descubierto que el uso de plantaciones intensivas de eucalipto mejora la biodiversidad de las zonas circundantes. En concreto, las plantaciones de eucaliptos se plantan con frecuencia en sabanas o en terrenos agrícolas y de pastos abandonados, lo que reduce la presión sobre los bosques naturales. Las plantaciones gestionadas de forma sostenible proporcionan un recurso maderero de alta calidad con una huella medioambiental mínima, al tiempo que protegen la biodiversidad al constituir una fuente de suministro de madera alternativa a la tala de bosques autóctonos [51]. Las plantaciones intensivas de eucalipto reducen la superficie forestal necesaria para satisfacer las necesidades industriales activas, como la producción de combustible y de madera para pulpa destinada a las fábricas de papel. De este modo, se reduce la presión sobre las masas naturales, lo que permite el uso industrial y humano del bosque y el mantenimiento de la

biodiversidad.

El eucalipto es bien conocido como especie arbórea de reforestación eficaz por su rápido crecimiento y su gran adaptabilidad a diversos entornos. En la zona específica de la plantación de eucaliptos, las especies vegetales autóctonas se reducen tras unos 2-3 años de crecimiento intensivo de la plantación, cuando se consigue el cierre de las copas. Las especies vegetales autóctonas de la mayoría de las plantaciones de eucalipto estudiadas presentaban una mayor diversidad vegetal que las de otras plantaciones de especies exóticas, debido principalmente a las características ecofisiológicas únicas del eucalipto y al diseño de la plantación y las técnicas de cosecha, entre las que los factores humanos desempeñaban papeles destacados [52].

SUMIDEROS DE CARBONO

Las plantaciones de eucalipto se han citado como posibles lugares de almacenamiento de carbono [53-55]. El secuestro de carbono en los bosques y los productos madereros ayuda a compensar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera que pueden derivarse de la deforestación, los incendios forestales y las emisiones de combustibles fósiles. Con el desarrollo de los mercados de carbono en Estados Unidos, los árboles se están utilizando como método de secuestro de carbono y en los mercados en desarrollo como sumideros de carbono [56]. Además de la biomasa leñosa de los árboles que se encuentra sobre el suelo, la biomasa de las raíces también contribuye al secuestro de carbono. El uso de plantaciones de eucalipto como lugares para el secuestro de carbono ha sido modelizado y verificado [57]. Se han realizado estudios que determinan el tiempo de rotación óptimo para las plantaciones con y sin rebrote, teniendo en cuenta el secuestro de carbono [58].

Las plantaciones de árboles por rebrote se forman cuando se deja que los tocones de los árboles talados broten y crezcan de forma selectiva [59, 60]. Se selecciona el mejor brote y se cortan todos los demás brotes del tocón. Este único brote se convertirá rápidamente en un nuevo árbol, con la ventaja de tener un sistema radicular ya desarrollado. Las plantaciones gestionadas por rebrote pueden someterse a entre dos y cinco ciclos de crecimiento y cosecha antes de replantar el terreno con nuevas plántulas o clones. Tras unos cuantos ciclos de crecimiento y cosecha, el proceso de crecimiento se ralentiza. Llegados a este punto, ya no resulta económico seguir cultivando árboles en una plantación talada y la tierra se vuelve a plantar con plántulas mejoradas o clones. Las plantaciones en donde no se aplica el rebrote se replantan después de un ciclo de crecimiento y cosecha.

Se han realizado estudios que demuestran que los eucaliptos no son tan buenos almacenando carbono como los árboles fijadores de nitrógeno [61]. Se realizaron estudios de almacenamiento de carbono en plantaciones multiespecies (albiza y eucalipto) de 17 años de edad plantadas en antiguos cañaverales. Estos rodales intercalados se compararon con rodales de las dos especies puras. La acumulación de carbono arbóreo sobre el suelo mostró una respuesta sinérgica al

aumento del porcentaje de la albizia, y los rodales mixtos tenían más carbono arbóreo que los rodales puros de eucalipto o albizia. Además, las zonas de albizia pura secuestraron alrededor de un 20 % más de carbono en el suelo que los rodales de eucalipto puro [62]. Una teoría es que el nitrógeno añadido al suelo por las albizias podría inhibir la descomposición del antiguo carbono del suelo derivado de la caña de azúcar en comparación con el eucalipto. Las adiciones de nitrógeno también podrían disminuir la renovación del carbono en el campo [62].

AVANCES RECIENTES

Recientemente, una parte del trabajo de desarrollo genético se ha desplazado del aumento de la producción por hectárea hacia la mejora de las propiedades de uso final [63-69] y las especies tolerantes al frío y las heladas [3, 9-11]. Una cantidad significativa de trabajos se ha centrado en las mejoras de la densidad y la relación entre la densidad de la madera, el rendimiento de la pulpa y la calidad de la pulpa [65, 66, 68]. Los avances científicos y técnicos en curso con fibras de eucalipto se dirigen a modificar las propiedades de la fibra para obtener propiedades específicas del papel [70].

Se han utilizado dos enfoques distintos para extender los eucaliptos en zonas propensas a las heladas. Una es la selección de especies naturalmente tolerantes a las heladas [3, 9]. La otra es el uso de la manipulación genética mediante el cultivo tradicional intraespecífico e interespecífico y la hibridación para mejorar la tolerancia a las heladas [71-73]. Ambos métodos se utilizan actualmente en el sureste de Estados Unidos.

CONCLUSIONES

El uso de plantaciones de eucalipto para abastecer la demanda de fibra corta ha crecido sustancialmente desde los ensayos iniciales de plantaciones exóticas a finales de los años sesenta. Se ha previsto que los eucaliptos suministren más de la mitad de la demanda de pulpa del mercado de fibra corta en 2015. Se ha demostrado que el eucalipto es una especie favorable para la reforestación de tierras agotadas. Las plantaciones de eucalipto tienen unas necesidades de fertilizantes relativamente bajas y unos índices de productividad elevados. Estas plantaciones proporcionan un buen método de secuestro de carbono y contribuyen a la conservación de los bosques naturales al limitar la superficie necesaria para apoyar el desarrollo comercial, contribuyendo así realmente a la biodiversidad a escala del paisaje. Las plantaciones de eucalipto se han identificado como posibles fuentes de producción de combustibles (tanto como leña como carbón vegetal para la producción de hierro), aplicaciones de madera maciza de valor añadido, producción de paneles duros y madera estructural, y para aplicaciones de pulpa y papel. El eucalipto tiene un género extremadamente variado, que se presta para la mejora genética y a la intensificación de las técnicas de cultivo. Los recientes esfuerzos por extender los eucaliptos a regiones más frías han tenido cierto éxito y siguen siendo prometedores. Desde sus

humildes comienzos a principios de la década de 1960, el desarrollo de plantaciones de eucalipto sigue atrayendo el interés y el capital de empresas multinacionales. Los recientes esfuerzos por aumentar el volumen de madera por hectárea y mejorar las propiedades del producto final mediante mejoras genéticas y de hibridación no hacen sino aumentar el valor de las plantaciones de eucalipto. El desarrollo y la explotación de las plantaciones de eucalipto para obtener beneficios económicos y ecológicos ha representado una verdadera revolución para el suministro de fibras cortas para la industria de la pulpa y el papel. TJ

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente la ayuda en la revisión y la redacción prestada por John Johnson, de MWV Forestry, y Humphrey Moynihan, de MWV Process Technology and Innovation.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Borralho, N.M.G., in *Eucalyptus Plantations; Research, Management and Development* (R.-P. Wei and D. Xu, Eds.), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, USA, 2003, pp. 79-89.
2. Dossa, D., da Silva, H.D., Bellote, A.F.J., et al., "Producao e rentabilidade do eucaliptos em Empresas Florestais," *Comunicado Tecnico 83*, Embrapa Florestas, Colombo, Paraná, Brazil, 2002. Available [Online] <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/307451/1/comtec83.pdf> <15June2015>.
3. Hart, P.W. and Nutter, D.E., *TAPPI J.* 11(7): 29(2012).
4. Magaton, A.S., Colodette, J.L., Gouvêa, A.F.G., et al., *TAPPI J.* 8(8): 32(2009).
5. RISI, *World Market Pulp Capacity Report for 2014*, RISI, Bedford, MA, USA, 2015.
6. Thaisuta, B., in *Eucalyptus Plantations; Research, Management and Development* (R.-P. Wei and D. Xu, Eds.), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, 2003, pp. 404-412.
7. Foelkel, C. "Advances in eucalyptus fiber properties and paper products," *3rd Int. Colloq. Eucalyptus Pulp*, Belo Horizonte, Brazil, 4-7 March 2007, University of Vicosa, Vicosa, Brazil p. 6.
8. Colodette, J.L., Gomes, C.M., Gomes, F.J., et al., "The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt," *Chem. Biol. Technol. Agric.* 1(25): 1(2014).
9. Samistraro, G., Hart, P.W., Colodette, J.L., et al., *TAPPI J.* 14(2): 73(2015).
10. Arnold, R. and Luo, J., in *Eucalyptus Plantations; Research, Management and Development* (R.-P. Wei and D. Xu, Eds.), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, 2003, pp. 90-100.
11. Kellison, R.C., Lea, R., and Marsh, P., "Introduction of *Eucalyptus* ssp. into the United States with special emphasis on the southern United States," *Int. J. For. Res.* 2013: Article ID 189393(2013). Available [Online] <http://dx.doi.org/10.1155/2013/189393> <15June2014>.
12. Rockwood, D.L. and Peters, G.F., "*Eucalyptus* and *Corymbia*

- species for pulpwood, mulchwood, energywood, windbreaks, and/or phytoremediation," Circular 1194, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), Gainesville, FL, USA, 1997.
13. Holland, P., "The pros and cons of eucalyptus," *Pulp Pap. News*, 22 April 2009.
 14. Stanturf, J.A., Vance, E.D., Fox, T.R., et al., "Eucalyptus beyond its native range: environmental issues in exotic bioenergy plantations," *Int. J. For. Res.* 2013: Article ID 463030(2013). Available [Online] <http://dx.doi.org/10.1155/2013/463030> <15June2015>.
 15. Shield, E.D., in *Eucalyptus Plantations; Research, Management and Development* (R.-P. Wei and D. Xu, Eds.), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, 2003, pp. 375-390.
 16. Rockwood, D.L., Rudie, A.W., Ralph, S.A, et al., *Int. J. Mol. Sci.* 9: 1361(2008).
 17. Food and Agriculture Organization, "Eucalyptus camaldulensis dehn. in the Mediterranean and Africa," in *Forest Genetic Resources No. 2*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1973. Available [Online] <http://www.fao.org/docrep/006/E4209E/E4209E09.htm> <24June2015>.
 18. Martin, B. and Quillet, G., *Bois For. Trop.* 154: 41(1974).
 19. Marcus Wallenberg Foundation, "The new eucalypt forest," in *Proc. Marcus Wallenberg Symp.*, Falun, Sweden, 14 September 1984, Wallenberg Foundation, Stockholm, Sweden.
 20. Chaperon, H., "Selection individuelle et clonage de l'eucalyptus," *Proc. AFOCEL-IUFRO Conf.*, Bordeaux, France, 26-30 September 1983, IUFRO Press, Vienna, Austria, p. 535.
 21. de Assis, T.F., "Evolution of technology for cloning Eucalyptus in large scale," *Proc., SIMPOSIO IUFRO*, Valdivia, Chile, 3-15 September 2001, IUFRO Press, Vienna, Austria.
 22. Clarke, C.R.E., *South African For. J.* 190: 61(2001).
 23. Martin, B., in *Eucalyptus Plantations; Research, Management and Development* (R.-P. Wei and D. Xu, Eds.), World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, 2003, pp. 3-17.
 24. Sanhueza, R.P. and Griffin, A.R., "FAMASA fiber yield improvement program: 10 years experiences breeding Eucalyptus globulus," *Proc., SIMPOSIO IUFRO*, Valdivia, Chile, 3-15 September 2001, IUFRO Press, Vienna, Austria.
 25. Cauvin, B., in *Sexual Reproduction in Higher Plants* (P. Gore and E. Pacine, Eds.), University of Siena, Siena, Italy, 1988, pp. 321-325.
 26. Cauvin, B., *Annales des Recherches Sylvicoles*, Association Forêt Cellulose (AFOCEL), Nangis, France, 1991, pp. 71-88.
 27. Food and Agriculture Organization, "Global forest resources assessment 2005 – Progress towards sustainable forest management (main report)," FAO Forestry Paper 147, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2005. Available [Online] <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf> <15June2015>.
 28. GIT Forestry Consulting SL Ingeniería Agro-forestal, Consultoría y Servicios, "Global eucalyptus map 2009 – XIII World Forestry Congress," GIT Forestry Consulting, Lugo, Spain, 2009. Available [Online] http://git-forestry.com/Global_Eucalyptus_Map.htm <15June2015>.
 29. Fernandes, D.E., Gomide, J.L., Colodette, J.L., et al., *Scientia Forestalis* 39(90): 143(2011).
 30. Food and Agriculture Organization, "Global planted forests thematic study: results and analysis. Planted forests and trees," FAO Working Paper FP38E, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2006.
 31. Food and Agriculture Organization, "Global forest resources assessment 2010–main report," FAO Forestry Paper 163, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2010. Available [Online] <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf> <15June2015>.
 32. Eyles, A., Worledge, D., Sands, P., et al., *Tree Physiol.* 32(8): 1008(2012).
 33. Liu, H. and Li, J., *J. Sustainable Dev.* 3(1): 197(2010).
 34. McCaw, L. and Smith, B., "Fire behavior in a 6 year old Eucalyptus globulus plantation during conditions of extreme fire danger – a case study from south-western Australia," Science Division, Department of Conservation and Land Management, Manjimup, Western Australia, Australia, 2005.
 35. Sierra Club, San Francisco Bay Chapter, "Park District can't afford to keep eucalyptus plantations—economics and ecology agree: convert to native species," *Sierra Club Yodeler*, 6 March 2014. Available [Online] <http://theyodeler.org/?p=9152> <15June2015>.
 36. Goodrick, S.L. and Stanturf, J.A., "Evaluating potential changes in fire risk from eucalyptus plantings in the southern United States," *Int. J. For. Res.* 2012: Article ID 680246(2012). Available [Online] <http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/680246/> <15June2015>.
 37. Diabangouaya, M., "Entomofauna of industrial plantations of eucalyptus in coastal savannas in Congo: Helopeltis schoutedeni reuter (Heteroptera miridae) depredator of young plantations," Ph.D. thesis, Université de Paris XI, Orsay, France, 1994.
 38. Hanks, L.M., McElfresh, S., Millar, J.G., et al., *Arthropod Biol.* 86(1): 96(1993).
 39. Loch, A.D., *Biol. Control* 47(1): 1(2008).
 40. Gryzenhout, M., Rodas, C.A., Portales, J.M., et al., *Mycol. Res.* 110(7): 833(2006).
 41. Kliejunas, J.T., Tkacz, B.M., Burdsall, H.H., Jr., et al., "Pest risk assessment of the importation into the United States of unprocessed Eucalyptus logs and chips from South America," General Technical Report FPL-GTR-124, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA, 2001, p. 134. Available [Online] http://www.fs.fed.us/forestry/publications/pest_risk_assmt_logs_chips_samerica.pdf <15June2015>.
 42. Hunter, G.C., Roux, J., Wingfield, B.D., et al., *Mycol. Res.* 108(6): 672(2004).
 43. Martin, B., "Contribution majeure a la foresterie clonale," Ph.D. thesis, Université Paris XI, Orsay, France, 1987.
 44. Zanuncio, J.C., Leadsme, P.G., Santos, G.P., et al., *Forests* 5: 72(2014).
 45. de Souza, A.R., Venâncio, D.D.F.A., Prezoto, F., et al., *Fla. Entomol.* 95(4): 1000(2012).
 46. Ribeiro, G.T., Poderoso, J.C.M., Serrão, J.E., et al., *Int. J.*

- Environ. Res.* 7(4): 937(2013).
47. Harcourt, R., Zhu, X., Llewellyn, D., et al., "Genetic engineering for insect resistance in temperate plantation eucalypts," *Proc. CRCTHFIUFRO Conf.*, Hobart, Australia, 19-24 February 1995, IUFRO Press, Vienna, Austria, p. 406.
 48. Harcourt, R., Kyozyuka, J., Floyd, R.B., et al., *Mol. Breed.* 6(3): 307(2000).
 49. Kikuchi, A., Watanabe, K., Tanaka, Y., et al., *Plant Biotechnol.* 25: 9(2008).
 50. Global Justice Ecology Project, "Genetically engineered trees and bioenergy: a growing threat to forests and communities," Global Justice Ecology Project, Buffalo, NY, USA, 2013. Available [Online] <http://globaljusticeecology.org/files/Analysis%20of%20the%20State%20of%20GE%20Trees%20May%202013.pdf> <15June2015>.
 51. StoraEnso, "Myths about eucalyptus," Stora Enso, Helsinki, Finland/Stockholm, Sweden, 2014. Available [Online] <http://storaensobeihai.com/news/Myths-About-Eucalyptus.html> <15June2015>.
 52. Ling, L. and Xie, Z.Q., *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 20(7): 1765(2009).
 53. Bala, S., Biswas, S., and Mazumdar, A., *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* 7(12): 1614(2012).
 54. Arroja, L., Dias, A.C., and Capela, I., *Clim. Change* 74(1-3): 123(2006).
 55. Liew, J.J., "Carbon sequestration of *Eucalyptus polybractea* and D2 as an indicator of below ground biomass," Honour's Dissertation, School of Environmental Systems Engineering, The University of Western Australia, Crawley, Perth, Australia, 2009.
 56. U.S. Department of Agriculture Forest Service, "Carbon sequestration," U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, DC, USA, 2013. Available [Online] <http://www.fs.fed.us/ecosys-temservices/carbon.shtml> <15June2015>.
 57. Miehle, P., Livesley, S.J., Feikema, P.M., et al., *Ecol. Model.* 192(12): 83(2006).
- Díaz-Balteiro, L. and Rodríguez, L.C.E., For. Ecol. Manage.* 229(1-3): 247(2006).


Carlos Julio Carrero
 Traductor Oficial Ing/Es-Español
 Resolución No. 0314
 Septiembre 14, 2010

SOBRE LOS AUTORES

El trabajo actual se realizó como parte de una revisión de materias primas elaborada para la celebración del centenario de TAPPI en la PaperCon 2015. Dado que la fibra de eucalipto se ha convertido rápidamente en la fibra corta predominante en el mundo, se decidió que estaba justificada una revisión de su pasado y desarrollo hasta convertirse en la fibra corta predominante. El presente documento es simplemente una revisión para que los lectores puedan comprender mejor la historia y el desarrollo de la revolución del eucalipto. Este artículo sienta las bases para los próximos pasos en el desarrollo del eucalipto.

En la actualidad, se están realizando considerables esfuerzos de investigación y mejora genética para ampliar el alcance de las plantaciones viables de eucalipto a zonas propensas a las heladas. Además, los esfuerzos de mejora genética del eucalipto se centran en potenciar las propiedades de fabricación de papel asociadas a la fibra de eucalipto. El presente artículo repasa los logros alcanzados hasta la fecha que han contribuido a hacer del eucalipto una fuente predominante de fibra para la fabricación de papel.

Se ha publicado tanto material sobre el eucalipto en los últimos 40 años que ha sido difícil limitar el artículo de revisión a un tamaño razonable. Como tal, hubo que atenerse a importantes limitaciones durante la redacción.



Santos

Por ejemplo, no se revisó nada sobre el ácido hexiurónico o los eucaliptos blanqueadores.

Dentro de la multitud de especies de eucalipto disponibles, actualmente sólo se explotan nueve para una aplicación comercial amplia. Los próximos pasos consistirán en seguir trabajando con los programas de mejora genética para potenciar las propiedades deseables de fabricación de papel y tolerancia a las heladas de algunas de las especies de eucalipto.

Hart es director de Fiber Science, MWV Corp., Atlanta, GA, y Santos es especialista senior en tecnología aplicada, MWV Corp., Covington, VA, EE UU. Correo electrónico de Hart: peter.hart@mwv.com.

Programa experto + Asistentes de calidad + Acceso experto

= LA VENTAJA DE PEERS

No hay mejor lugar para encontrar los conocimientos técnicos y los contactos personales que necesita para que su fábrica de pulpa y papel sea más eficaz y para impulsar su carrera profesional que la Conferencia TAPPI PEERS. El proceso de selección de ponentes de TAPPI, revisado por expertos, garantiza presentaciones de la máxima calidad con un mínimo de comercialismo.

- **Procesamiento de fibras:** mejora del rendimiento, fundamentos del procesado.
- **Vapor y energía:** modernización para reducir costos, calderas MACT, calderas de recuperación y optimización de hornos.
- **Fiabilidad e ingeniería de fábricas:** gestión de activos, resistencia a la corrosión, optimización de paradas.
- **Mesas redondas:** conversaciones interactivas sobre innovaciones e ideas interesantes.
- **Más oportunidades de establecer contactos:** reuniones con expertos en la materia y a personas que comparten sus problemas.
- **Expositores nuevos y recurrentes:** le ayudamos a resolver sus problemas.
- **Temas de actualidad:** para empezar bien el día.

Para más información, visite y regístrese en www.tappipeers.org



Sustainable Solutions for Our Future

PEERS es el acrónimo en inglés de Pulpa, Ingeniería, Medio Ambiente, Reciclado y Sostenibilidad.

Orador principal

John D. Williams

Presidente y CEO de Domtar

Adoptar la sostenibilidad como marco empresarial para aumentar el valor a largo plazo para el accionista

Nuestra industria aportará mejoras de sostenibilidad en los próximos 100 años en un entorno que, con toda seguridad, será cada vez más costoso, competitivo y limitado en recursos a escala mundial.

Co-ubicado en



Yo, Carlos Julio Carrero, el abajo firmante, Traductor Oficial Inglés – Español en y para la República de Colombia, según Certificado Profesional No. 0314 de fecha 14 de septiembre de 2010; por medio del presente CERTIFICO que me fue entregado un documento en idioma inglés, cuya traducción consta en las siguientes trece (13) páginas.

La traducción que sigue a continuación es una traducción fiel al idioma español del documento adjunto, la cual ha sido realizada a petición de la parte interesada. En fe de lo cual, estampo mi sello y firma a continuación en la ciudad de Bogotá en este día 4 de septiembre del 2025.

Carlos Julio Carrero

Traductor Oficial No. 0314



Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

Consulte los análisis, las estadísticas y los perfiles de los autores de esta publicación en: <https://www.researchgate.net/publication/314256857>

Propiedades anatómicas y químicas de la madera relacionadas con la pulpabilidad del *Eucalyptus globulus*: una revisión

Artículo publicado en Southern Forests: a Journal of Forest Science - febrero de 2017

DOI: 10.2989/20702620.2016.1274859

CITAS

46

LECTURAS

2.127

4 autores:



Isabel Carrillo-Varela

Centro de Investigación de Polímeros Avanzados

21 PUBLICACIONES 514 CITAS

CONSULTAR PERFIL



Juan Elissetche

Universidad de Concepción Facultad Ciencias Forestales

34 PUBLICACIONES 548 CITAS

CONSULTAR PERFIL



Claudia Vidal

Universidad de Concepción

11 PUBLICACIONES 226 CITAS

CONSULTAR PERFIL



Regis Teixeira Mendonça Universidad de Concepción

106 PUBLICACIONES 2.663 CITAS

CONSULTAR PERFIL

Todo el contenido que sigue a esta página fue subido por Isabel Carrillo-Varela el 22 de septiembre de 2017.

El usuario ha solicitado la mejora del archivo descargado.


Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010



Propiedades anatómicas y químicas de la madera relacionadas con la pulpabilidad del *Eucalyptus globulus*: una revisión

Isabel Carrillo, Claudia Vidal, Juan P. Elissetche y Regis T. Mendonça

Para citar este artículo: Isabel Carrillo, Claudia Vidal, Juan P. Elissetche y Regis T. Mendonça (2017): Propiedades anatómicas y químicas de la madera relacionadas con la pulpabilidad del *Eucalyptus globulus*: una revisión, Southern Forests: a Journal of Forest Science, DOI: [10.2989/20702620.2016.1274859](https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1274859)

Para enlazar con este artículo: <http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2016.1274859>



Publicado en línea: 22/02/2017



Envíe su artículo a esta revista 



Vistas del artículo: 13



Consultar artículos relacionados 



Consultar datos de Crossmark 

Encontrará todas las condiciones de acceso y uso en <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tsfs20>

Descargado por: [Universidad De Concepción]

Date: 23 de marzo de 2017, a las: 08:13


Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

Artículo de revisión

Propiedades anatómicas y químicas de la madera relacionadas con la pulpabilidad del *Eucalyptus globulus*: una revisión

Isabel Carrillo¹, Claudia Vidal¹, Juan P. Elissetche¹ y Regis T. Mendonça^{1,2*}

¹Laboratorio de Recursos Renovables, Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

* Autor de correspondencia, correo electrónico: rteixeira@udec.cl

El *Eucalyptus globulus* es una de las especies de madera dura más importantes utilizadas por la industria de la pulpa y el papel debido a su alto rendimiento de la pulpa, alta densidad de la madera, excelente calidad de la fibra y buenas propiedades de la hoja de prueba. Sin embargo, la madera es un material muy variable y complejo que presenta distintas propiedades químicas, físicas y anatómicas que influyen en su valor comercial. Por lo tanto, basándonos en la gran variabilidad entre los eucaliptos y su importancia económica, diferentes estudios se han centrado en la cantidad, estructura y comportamiento de los componentes del xilema y su influencia durante los procedimientos de despulpado. Esta revisión explora los resultados más recientes sobre la variación química y anatómica en árboles que contrastan en cuanto a la densidad de la madera y el rendimiento de la pulpa, lo cual explica la pulpabilidad del *E. globulus*. En particular, se analizan la química de la lignina, las características de los xilanos y las propiedades biométricas de la fibra de árboles contrastantes del *E. globulus* con el fin de comprender el extraordinario rendimiento del *E. globulus* durante los procedimientos de despulpado y la fabricación de papel.

Además, se adopta un enfoque genético utilizando los principales resultados sobre la relación entre la abundancia de transcritos de genes asociados con la formación de madera y las propiedades químicas de genotipos contrastantes del *E. globulus*.

Palabras clave: F5H, biometría de la fibra, química de la lignina, rendimiento de la pulpa, abundancia de transcritos, densidad de la madera, xilanos

Introducción

Las especies de eucalipto se han convertido en uno de los recursos de madera dura más importantes para las fábricas de celulosa de todo el mundo debido a su rápido crecimiento, su forma recta, las valiosas propiedades de su madera, su amplia adaptabilidad a diferentes suelos y climas, y su fácil gestión (Turnbull y Pryor, 1984; Turnbull, 1999; Myburg *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2015). Además, sus fibras son relativamente numerosas (fibras por gramo de pulpa) y más pequeñas que la mayoría de las fibras de madera dura, lo que proporciona una superficie lisa para los papeles de impresión y escritura (Clarke *et al.*, 2008; Dutt y Tyagi, 2011). Entre las diferentes especies de eucalipto, el *E. globulus* presenta varias ventajas para la fabricación de pulpa Kraft, como un alto rendimiento de la pulpa, una alta densidad de la madera, una excelente calidad de la fibra y buenas propiedades de la hoja de prueba (Doughty, 2000; Kibblewhite *et al.*, 2000; del Río *et al.*, 2005; Patt *et al.*, 2006; Gominho *et al.*, 2015). El resultado de estas características principales es lo que se denomina

"pulpabilidad", que implica la viabilidad de producir pulpa celulósica con mayores rendimientos y mejores propiedades de resistencia que otras especies de madera dura. En consecuencia, existen extensas plantaciones de *E. globulus* en Asia, Sudamérica, África y el sur de Europa, con aproximadamente 2,5 millones de hectáreas plantadas en todo el mundo (Potts *et al.*, 2004).

Entre los indicadores de calidad de la madera más importantes para los procesos industriales, la densidad de la madera es una propiedad de interés, porque está directamente relacionada con el tipo y la calidad del producto que se obtendrá, y es la propiedad más informativa sobre el comportamiento físico-mecánico de la madera para la producción de madera, pulpa y papel (Lima *et al.*, 2000; Raymond y Muneri, 2001; Magaton *et al.*, 2009). En las maderas duras, la densidad de la madera viene determinada por su estructura anatómica, como las características de los vasos, el ancho de las fibras, el grosor de las paredes celulares, la proporción de

parénquima y la composición química. Así, especies con fibra y las dimensiones de las células, lo que afecta a la calidad de la pulpa y el papel producidos (Sandercock *et al.*, 1995; Downes *et al.*, 1997; Butterfield, 2006; Gomes *et al.*, 2015; Gominho *et al.*, 2015). En los procesos de despulpado químico, se sabe que el rendimiento del despulpado y del blanqueo depende en gran medida de la abundancia, la estructura y la reactividad de la lignina, la celulosa y las hemicelulosas. En particular, el contenido de lignina y su composición son parámetros importantes en la producción de pulpa en relación con las tasas de deslignificación, el consumo de productos químicos y el rendimiento de la pulpa (del Río *et al.*, 2005; Pinto *et al.*, 2005; Rencoret *et al.*, 2008; Magaton *et al.*, 2009; Rencoret *et al.*, 2011; Gominho *et al.*, 2015; Saito *et al.*, 2016).

Existen varios estudios publicados sobre la fibra y las propiedades químicas de diferentes especies de madera dura, incluido el eucalipto, que reflejan la amplia variabilidad dentro del género *Eucalyptus* y su diferente influencia en el despulpado (Cotterill y Macrae, 1997; Raymond *et al.*, 1998; Kibblewhite *et al.*, 2000; Kibblewhite y Riddell, 2000; Kube *et al.*, 2001; Ona *et al.*, 2001; Miranda y Pereira, 2002; Wimmer *et al.*, 2002; Kibblewhite *et al.*, 2004; Pinto *et al.*, 2005; Quilhó *et al.*, 2006; Dutt y Tyagi, 2011; Gomes *et al.*, 2015). Según estas características, la madera de diferentes especies de eucalipto puede requerir condiciones de despulpado y blanqueo significativamente diferentes para alcanzar el mismo grado de deslignificación y brillo, respectivamente. Por ello, partiendo de la amplia variabilidad conocida dentro del género *Eucalyptus*, nuestro grupo de investigación se ha centrado en el estudio de la cantidad, estructura y comportamiento de los componentes de la madera del *E. globulus* y su influencia en el proceso de despulpado Kraft. Esta información ha sido útil para lograr una mejor comprensión y optimización del despulpado y blanqueo, así como para estudios genéticos destinados a seleccionar los mejores genotipos para plantaciones comerciales. Esta revisión explora los resultados más recientes sobre las variaciones químicas y anatómicas en árboles que contrastan en cuanto a la densidad de la madera y el rendimiento de la pulpa que explican la pulpabilidad del *E. globulus*.

Influencia de los componentes químicos

Características de la lignina

La lignina es uno de los componentes químicos más importantes de la madera que afecta al proceso de despulpado. Su contenido y composición, en términos de unidades de hidroxifenilo (H), guayacil (G) y siringilo (S), son factores con una gran influencia en las tasas de deslignificación y el consumo de productos químicos durante la producción de pulpa. Las unidades de monolignol difieren en el número de grupos metoxi unidos al

densidad similar pueden diferir en las propiedades de la anillo aromático; la unidad S tiene dos grupos metoxi, la unidad G tiene un grupo metoxi, mientras que la unidad H no tiene ninguno. Estas unidades están conectadas mediante enlaces C-O y C-C, incluyendo β -O-4, tipos β -5, β - β , 5-5, 4-O-5 y β -1 (Ralph *et al.*, 2004; Ralph 2010; Rencoret *et al.*, 2011). La cantidad y composición de las ligninas varía entre taxones, tipos celulares y capas individuales de la pared celular (Rencoret *et al.*, 2011; Saito *et al.*, 2016). En consecuencia, la lignina de la madera blanda contiene unidades G, la de la madera dura contiene unidades G y S (y trazas de unidades H), y las gramíneas tienen unidades H, G y S (Calvo-Flores y Dobado, 2010; Li *et al.*, 2015). La lignina de tipo G contiene enlaces más resistentes que las unidades S, porque las posiciones C5 de los monolignoles de tipo G están disponibles para el acoplamiento, mientras que las de las unidades S están estéricamente inhibidas (Pinto *et al.*, 2005; del Río *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2015). Así, los enlaces entre monolignoles determinan la reactividad de la lignina, donde los enlaces β -O-4 son los tipos de enlace más abundantes y lábiles, mientras que los enlaces C-C (β - β , β -1, β -5, y 5-5) son más resistentes a la degradación química (Baucher *et al.*, 2003; Saito *et al.*, 2016). Por lo tanto, se ha postulado que la relación S/G de la lignina y la cantidad de enlaces β -O-4 afectan a la eficiencia del despulpado (Chiang y Funaoka 1990; Boerjan *et al.*, 2003; Pinto *et al.*, 2005). Se sabe que la mayor reactividad de las unidades de lignina S en comparación con las unidades G en sistemas alcalinos promueve un menor grado de recondensación de la lignina durante el proceso de despulpado, lo que ha sido demostrado en diferentes especies de eucalipto, facilitando los procesos de deslignificación y blanqueo (González-Vila *et al.*, 1999; del Río *et al.*, 2005; Pinto *et al.*, 2005; Rencoret *et al.*, 2008, 2011; Lourenço *et al.*, 2013; Saito *et al.*, 2016).

En particular para el *E. globulus*, Pinto *et al.* (2002a, 2002b) investigaron el comportamiento de la lignina de árboles *E. globulus* de 12 años durante el despulpado Kraft, estableciendo que la lignina enriquecida con unidades H y G, que está altamente condensada y unida principalmente con xilanos, se elimina primero en la etapa inicial de la deslignificación. Durante las etapas de despulpado a granel y residual, la lignina enriquecida con unidades S se elimina gradualmente, aumentando la relación S/G de la lignina del licor negro hasta una relación similar a la de la madera. En cuanto a la lignina residual, pasa por un proceso de condensación en el que aumenta el contenido de las estructuras β -5, 5-5 y 4-O-5, y disminuye el contenido de las estructuras β -O-4, lo que hace que la lignina sea más recalcitrante.

En un enfoque diferente, Elissetche *et al.* (2011) estudiaron las características de la lignina de 10 genotipos no emparentados de *E. globulus* de 5 a 7 años de edad que contrastaban en cuanto a la densidad de la madera y el rendimiento de la pulpa. Con el fin de garantizar que los

árboles correspondían a genotipos diferentes, los árboles se genotipificaron utilizando marcadores moleculares microsatélites (o de repetición de secuencia simple [SSR]). En el grupo de alta densidad (G1), la densidad de la madera fue de 514–563 kg m⁻³ y el rendimiento de la pulpa de 56,2–57,1 %; mientras que en el grupo de baja densidad (G2), la densidad de la madera fue de 442–499 kg m⁻³ y el rendimiento de la pulpa de 51,4–54,7 %. Los autores hallaron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a contenido de lignina, unidades S y enlaces β -O-4. El grupo G1 tenía un 2,54 % menos de lignina, un 15,18 % más de unidades S y un 6,72 % más de enlaces β -O-4 que el G2.

Los autores también establecieron correlaciones significativas y positivas para el rendimiento de la pulpa frente a las unidades S y enlaces β -O-4 y para los enlaces β -O-4 frente a las unidades S; mientras que para el contenido de lignina frente al rendimiento de la pulpa, la correlación fue altamente significativa y negativa.

Estos resultados concuerdan con los datos de caracterización química comunicados por Gomide *et al.* (2005) para híbridos de *E. grandis* e híbridos *E. grandis* $\times$ *E. urophylla*, y por Gomes *et al.* (2015) para diferentes clones híbridos de eucalipto con alta pulpabilidad. Guerra *et al.* (2008) también mostraron resultados similares en clones de *E. globulus*; sin embargo, no encontraron ninguna correlación entre el contenido de lignina y el rendimiento de la pulpa. Estos resultados sugieren un impacto significativo y positivo de la relación S/G en el consumo de álcali y el rendimiento de la pulpa, porque la lignina de tipo S se degrada más fácilmente durante el despulpa (Collins *et al.*, 1990; González-Vila *et al.*, 1999; Rutkowska *et al.*, 2009; Rencoret *et al.*, 2011; Saito *et al.*, 2016). Las mismas conclusiones se establecieron en estudios de lignina realizados con diferentes árboles de madera dura (Pinto *et al.*, 2005) y en *E. globulus* de diferentes condiciones de crecimiento (del Río *et al.*, 2005).

Aguayo *et al.* (2013) también estudiaron 10 genotipos no emparentados de *E. globulus* de 15 años de edad que contrastaban en cuanto a la densidad de la madera y el rendimiento de la pulpa para determinar la influencia de la química de la lignina y la topoquímica durante la deslignificación Kraft. Las muestras se genotipificaron utilizando marcadores SSR para garantizar que los árboles correspondían a genotipos diferentes. El grupo de árboles con alta densidad de la madera y alto rendimiento de la pulpa se denominó G1, mientras que el grupo con baja densidad de la madera y bajo rendimiento de la pulpa se denominó G2. Para determinar el comportamiento de la lignina durante el despulpa Kraft, los árboles se cocieron en licor Kraft para generar muestras de pulpa que representaran los pasos inicial e intermedio de la fase de deslignificación a granel (pulpas P1 y P2, respectivamente). Los autores descubrieron que los niveles de lignina de las pulpas P1 y P2 de G1 eran

inferiores a los de las pulpas de G2, lo que era atribuible al menor contenido inicial de lignina en la madera de G1. Además, mediante la técnica de tioacidólisis, determinaron que las ligninas de los árboles G1 contenían más enlaces β -O-4, unidades S y estructuras menos condensadas. La eliminación de la lignina de las muestras G2 fue incompleta, y las pulpas P2 de este grupo mostraron más ligninas residuales y más enlaces β -O-4 no escindidos, sobre todo en las unidades G, lo que indica que los enlaces G-aril-gliceroéter resistieron la cocción Kraft. Estos resultados concuerdan con los datos comunicados por Guerra *et al.* (2008) en clones de *E. globulus*. Los autores también evaluaron la topoquímica de la lignina durante la deslignificación Kraft mediante microespectrofotometría ultravioleta. Se observó que el comportamiento de la eliminación de lignina durante el despulpa Kraft fue similar para todos los árboles de *E. globulus* evaluados, donde la lignina se disuelve primero de la capa S₂, mientras que la lignina en la lamela media y en la esquina de la célula es más recalcitrante a la degradación, incluso durante períodos de reacción prolongados. Se observó un patrón de deslignificación similar en la deslignificación del *E. globulus* durante el despulpa semiquímico neutro con sulfito (Rehbein *et al.*, 2010).

Aguayo *et al.* (2015) evaluaron las características estructurales de la lignina de dioxano de seis genotipos no relacionados del *E. globulus* de 15 años de edad (genotipificados mediante marcadores SSR) clasificados también como grupos de alta densidad (G1) y baja densidad (G2). A partir del análisis elemental, se concluyó que el número de grupos metoxilo en las ligninas de dioxano de la madera no presentaba diferencias entre las muestras G1 y G2, pero el grado de demetoxilación en las ligninas de dioxano de las pulpas G2 era mayor que en las pulpas G1. Esto es notable porque una de las reacciones que se producen durante el despulpa Kraft es la escisión de los enlaces metil-aril-éter de la lignina. Por lo tanto, una mayor desmetoxilación de la lignina podría aumentar la ocurrencia de reacciones de condensación, disminuyendo la eficiencia de la eliminación de lignina durante el despulpa Kraft (Gellerstedt, 2009). El contenido de grupos fenólicos e hidroxilos alifáticos asociados a la estructura de la lignina se determinó mediante espectroscopia de RMN 31P. Estos resultados mostraron correlaciones positivas para el rendimiento de la pulpa frente a las unidades S y la relación S/G, mientras que se observó una correlación negativa para el rendimiento de la pulpa frente a las unidades G y las unidades de 5-5 bifenilo.

Como es sabido, las unidades S altas promueven la deslignificación y disminuyen la recondensación durante el despulpa Kraft (Sjöström, 1993; Gellerstedt, 2009; Rutkowska *et al.*, 2009), por lo que cabría esperar estos resultados. No obstante, deberían evaluarse más muestras para determinar la importancia de estas correlaciones y confirmar este comportamiento en árboles de *E. globulus*.

Además, la cantidad de unidades de 5-5 bifenilo en la lignina de las muestras de madera G1 (0,10 mmol g⁻¹ de lignina) era menor que en las muestras de madera G2 (0,14 mmol g⁻¹ de lignina). Se observó el mismo patrón en la cantidad de unidades de 5-5 bifenilo en la lignina de las muestras de pulpa G1 (0,30 mmol g⁻¹ de lignina) y G2 (0,36 mmol g⁻¹ de lignina). Las unidades de 5-5 bifenilo están presentes en pequeñas cantidades en la madera; sin embargo, estas unidades tienen una influencia negativa en el rendimiento de la pulpa porque disminuyen la tasa de deslignificación, dificultando la fragmentación de la lignina (Sjöström 1993; Gellerstedt 2009).

Características de los xilanos

Las hemicelulosas de madera dura están compuestas principalmente por *O*-acetil-(4-*O*-metilglucurónico) xilanos (normalmente llamados xilanos), mientras que los galactoglucomananos son las hemicelulosas más comunes de las maderas blandas. Las hemicelulosas de maderas blandas y duras presentaron un comportamiento diferente durante el despulpado alcalino que afectó su retención en las pulpas (Sjöström, 1993; Ek *et al.*, 2009; Scheller y Ulvskov 2010). Los xilanos se degradan menos y son más estables que los glucomananos durante la deslignificación Kraft.

La masa molar de los xilanos, su grado de sustitución con ácido metilglucurónico (MeGlcA) y la estabilidad a los álcalis se han asociado con el nivel de retención de xilanos en pulpas Kraft de diferentes especies de eucalipto (Pinto *et al.*, 2005; Magaton *et al.*, 2011, 2013).

Martínez *et al.* (2015) evaluaron la retención y la estructura de los xilanos de seis genotipos no relacionados del *E. globulus*. Los genotipos evaluados en este estudio correspondieron a las mismas muestras utilizadas por Aguayo *et al.* (2015), que eran contrastantes en cuanto a la densidad de la madera y el rendimiento de la pulpa. Los principales resultados mostraron que el contenido de xilano era menor en los genotipos G1 (11,2-11,6 %) que en los genotipos G2 (12,6-14,3 %), y no se encontraron diferencias en la cantidad de grupos de MeGlcA y acetilo unidos a las cadenas de xilano. La retención de xilanos en las pulpas G1 fue del 54-59 %, mientras que en las pulpas G2 fue del 43-51 %. Estos resultados indicaron que, a pesar de la menor cantidad inicial de xilanos, los xilanos de los genotipos G1 se degradaron menos que los xilanos de los genotipos G2 durante el proceso de despulpado Kraft, y la menor degradación observada podría estar asociada a una mayor masa molar o a cadenas más ramificadas del polisacárido con MeGlcA (Magaton *et al.*, 2011, 2013).

El análisis mediante ¹H-NMR mostró que los xilanos aislados de muestras de madera G1 presentaban hasta un 40 % más de MeGlcA que los xilanos de las muestras de madera G2. También, se observó una diferencia similar en las pulpas Kraft producidas a partir de estas muestras. Se

establecieron correlaciones fuertes y positivas para la retención de xilanos en pulpas frente a la cantidad de MeGlcA en madera y pulpa y entre la retención de xilanos frente al ácido hexenurónico (HexA) en pulpa. Según Pinto *et al.* (2005) y Sixta (2006), los sustituyentes de cadena lateral de los xilanos dificultan la degradación alcalina, contribuyendo a la retención de xilanos en las pulpas. Por lo tanto, la formación de HexA a partir de MeGlcA durante el despulpado Kraft también estabiliza los extremos reductores de las cadenas de xilano y contribuye a su retención en la pulpa. Los resultados del peso molar (Mw) mostraron valores más altos para los xilanos de las muestras de madera G1 (33,3-33,7 kDa) que para los xilanos de las muestras de madera G2 (30,9-32,6 kDa). Se observó una correlación fuerte y positiva entre la retención de xilanos en pulpas y el Mw de xilanos de la madera ($r = 0,9$), lo que mostró que una masa molar alta es también un factor que contribuye a la retención de xilanos en pulpas Kraft para diferentes genotipos de *E. globulus*, como también mostró Magaton *et al.* (2013) para diferentes especies de eucalipto.

Influencia de la biometría de las fibras

La estructura anatómica y la biometría de los elementos de la madera determinan importantes parámetros relacionados con la calidad de la madera para la fabricación de pulpa y papel. Se espera que en las maderas duras de alta densidad, las fibras con paredes celulares más gruesas representen una mayor proporción de xilema (Butterfield, 2006), produciendo papeles con mayor compresión, mejor imprimibilidad y opacidad (Downes *et al.*, 1997; Raymond *et al.*, 1998). De lo contrario, en las maderas duras de baja densidad, los vasos ocupan una proporción importante de la madera y las fibras tienen paredes finas, lo que produce un papel más denso con una alta resistencia a la tracción y a romperse (Downes *et al.*, 1997; Butterfield, 2006). La longitud de la fibra no suele contribuir a la densidad, pero es un factor importante que influye en las propiedades de resistencia del papel (Mansfield y Weineisen, 2007; Ek *et al.*, 2009). Existen varios estudios publicados sobre el efecto de las características de la fibra del *E. globulus* en las propiedades de la pulpa y el papel, así como, el efecto del sitio en la variación de la morfología del xilema, y la variación dentro y entre individuos (Jorge *et al.*, 2000; Kibblewhite *et al.*, 2000; Ona *et al.*, 2001; Miranda y Pereira, 2002; Wimmer *et al.*, 2002; Ramírez *et al.*, 2009a, 2009b; Gominho *et al.*, 2015).

Carrillo *et al.* (2015) evaluaron las variaciones en la anatomía de la madera y la biometría de la fibra de seis genotipos no emparentados del *E. globulus* utilizando un comprobador de fibras y técnicas microscópicas. Los genotipos evaluados en este estudio corresponden a las mismas muestras utilizadas por Martínez *et al.* (2015), que eran contrastantes en cuanto a la densidad de la madera y

el rendimiento de la pulpa. Los análisis anatómicos de la madera se realizaron en diferentes secciones a lo largo del radio desde la médula hasta la corteza, al 10 %, 50 % y 90 % del radio total a la altura del pecho de cada árbol. Los autores demostraron que las dimensiones de los vasos y las fibras aumentaban de la médula a la corteza, mientras que la frecuencia de los vasos disminuía, lo que refleja el efecto de la edad cambial en las variaciones anatómicas. La densidad de la madera varía entre árboles de la misma especie, así como dentro de un mismo árbol, donde suele aumentar de la médula a la corteza y con la altura (Downes *et al.*, 1997; Wate *et al.*, 1999; Gominho *et al.*, 2015), por lo que la variación de las dimensiones de las fibras y los vasos era de esperar dentro de los árboles, dada su influencia en la variación de la densidad.

El grosor de la pared celular, la longitud de la fibra, la relación de Runkel y la rugosidad fueron significativamente superiores en G1 (genotipos de alta densidad) en casi todas las secciones a lo largo del radio analizado. Para el *E. globulus* estudiado, el grosor promedio de la pared celular para las muestras G1 fue de 3,35 μm , mientras que para G2 fue de 2,86 μm . La relación promedio de Runkel y la rugosidad en G1 fueron de 0,73 mg y 7,6 mg por 100 m, y de 0,56 mg y 6,7 mg por 100 m en G2, respectivamente. El ancho del lumen también fue significativamente diferente entre los grupos, siendo mayor en G2, pero no se observaron diferencias en las características de los vasos. Se esperan valores altos de rugosidad y grosor de la pared celular en árboles con alta densidad, ya que la rugosidad está relacionada con el grosor de la pared celular (Mansfield y Weineisen, 2007). La rugosidad tiene una estrecha relación con la densidad de la madera y es un buen índice para predecir las propiedades de la pulpa, además de estar estrechamente relacionada con las propiedades biométricas de las fibras (Via *et al.*, 2004; Mansfield y Weineisen, 2007). Además, en la fabricación de papel con fibras de madera dura, es deseable una relación de Runkel inferior a 1,0 para el contacto fibra-fibra, lo que proporciona una buena conformabilidad de los papeles (Dean, 1995), por lo que los árboles de G1 y G2 son adecuados para este fin.

Las correlaciones de las propiedades anatómicas evaluadas en diferentes secciones a lo largo del radio mostraron ser significativas y positivas para la densidad frente a la rugosidad, el grosor de la pared celular frente a la rugosidad y la longitud de la fibra frente a la densidad en el 50 % del radio total. La densidad frente al grosor de la pared celular y la relación de Runkel mostraron ser positivas y significativas en cada sección analizada, mientras que la longitud de la fibra frente a la rugosidad mostró una correlación significativa al 10 % y al 50 % del radio total. Los datos sobre la altura del árbol entero mostraron correlaciones positivas entre la densidad de la madera y el grosor de la pared celular, la rugosidad y la relación de Runkel, mientras que la rugosidad mostró una estrecha relación con casi todas las variables evaluadas.

Estos resultados demuestran la amplia variabilidad entre las propiedades anatómicas en las diferentes etapas de desarrollo del xilema en los árboles de *E. globulus*.

Perfil de transcripción

La madera es un material muy complejo y variable que presenta distintas propiedades químicas, físicas y anatómicas que influyen en su valor comercial y su transformación industrial. Estas propiedades dependen del tamaño, la forma y la disposición de los distintos tipos de células del xilema, así como de la estructura y la composición química de la pared celular secundaria de las fibras. A su vez, estas propiedades están controladas por diferentes factores ambientales y genéticos que regulan las vías de biosíntesis de los distintos componentes de la madera. Para aplicar herramientas moleculares y genéticas que permitan optimizar los procesos de selección de especies forestales con características superiores, es necesario comprender los mecanismos que regulan estas propiedades, como la dinámica de biosíntesis de los componentes de la pared celular. Como ya se ha mencionado, la lignina es un componente importante que afecta al proceso de despulpado. Varios estudios se han centrado en la selección o generación de árboles modificados genéticamente con menor contenido de lignina o alta relación S/G, con el fin de aumentar el rendimiento de la pulpa (Whetten *et al.*, 1998; Kawaoka *et al.*, 2006; Stewart *et al.*, 2009; Rinaldi *et al.*, 2016).

La manipulación genética de genes implicados en la biosíntesis de la lignina se ha llevado a cabo de forma amplia (van Doorselaere *et al.*, 1995; Baucher *et al.*, 1996; Vanholme *et al.*, 2008) y puede encontrarse una revisión actualizada de la biosíntesis y la bioingeniería de la lignina en otras partes (Rinaldi *et al.*, 2016). Algunos de los genes estudiados son la fenilalanina amoniliasa (PAL), la 4-cumarato:CoA ligasa (4CL), la ferulato 5-hidrolasa (F5H) y la cinamil alcohol deshidrogenasa (CAD), que se han modificado en diferentes plantas como *Arabidopsis thaliana*, *Nicotiana tabacum*, *Pinus taeda* y *Populus* spp. (Anterola y Lewis, 2002; Baucher *et al.*, 2003). Otro enfoque para determinar el efecto de algunos genes en las características químicas de la madera fue documentado por Elissetche *et al.* (2011), que evaluaron la abundancia de transcritos de cuatro genes que codifican enzimas implicadas en la ruta de biosíntesis de la lignina en 10 genotipos de *E. globulus* no relacionados que contrastaban en cuanto al rendimiento de la pulpa y la densidad de la madera. La expresión génica de la PAL, CAD, 4CL y F5H se evaluó mediante PCR cuantitativa en tiempo real (qRT-PCR). Los autores no observaron diferencias significativas en los niveles relativos de expresión entre los árboles de G1 (grupo de alta densidad) y de G2 (grupo de baja densidad) para la PAL, CAD y 4CL. Sin embargo, se observó un nivel de transcripción significativamente diferente entre ambos grupos para la

F5H, con un valor promedio de 0,9 para los árboles de G1 y de 0,5 para los de G2. También, se informó de fuertes correlaciones para la abundancia del transcrito F5H frente al contenido de lignina ($r = -0,90$) y frente al contenido de unidades S ($r = 0,91$).

La F5H es una monooxigenasa dependiente del citocromo P450 que cataliza la hidroxilación del ácido ferúlico en ácido 5-hidroxiferúlico, el coniferaldehído en hidroxiconiferaldehído y el alcohol coniferílico en alcohol 5-hidroxiconiferílico. Varios estudios de plantas transgénicas demostraron que la sobreexpresión de la F5H produce altos niveles del monómero S (Meyer *et al.*, 1998; Osakabe *et al.*, 1999; Franke *et al.*, 2000; Stewart *et al.*, 2009), una reducción del contenido de lignina en plantas transgénicas de tabaco (Franke *et al.*, 2000) y ningún cambio en el contenido total de lignina en árboles de *P. tremuloides* (Li *et al.*, 2003). Novaes *et al.* (2009, 2010) documentaron una correlación positiva entre las unidades S y la cantidad del contenido total de lignina en el híbrido de *P. trichocarpa* × *P. deltoides*. Huntley *et al.* (2003) estudiaron un híbrido de álamo (*P. tremula* × *P. alba*) con sobreexpresión de F5H y observaron un aumento de las unidades S pero ninguna variación en el contenido total de lignina. Se observó una alta correlación entre la abundancia de F5H y el rendimiento de la pulpa en el *E. globulus* ($r = 0,90$), lo que demuestra que podría utilizarse como predictor del rendimiento de la pulpa (Elissetche *et al.*, 2011). Shinya *et al.* (2016) generaron un perfil de transcripción de genotipos híbridos de *E. urophylla* × *E. grandis* con diferente contenido de lignina. Los autores informaron que la PAL, 4CL y cinamato-4-hidroxilasa, genes asociados a la vía fenilpropanoide, mostraban mayores niveles de transcripción en el genotipo con mayor contenido de lignina. Estos informes sugieren que los genes relacionados con la biosíntesis del monolignol pueden regular la composición de la madera de los eucaliptos, así como su pulpabilidad. Sin embargo, deben realizarse más estudios para demostrar esta hipótesis.

En cuanto a la biometría de las fibras, Carrillo *et al.* (2013) analizaron los aspectos genéticos implicados en la determinación de las características de la fibra basándose en estudios con especies de *Populus* y *Eucalyptus*. Los autores revisaron las investigaciones sobre la abundancia de transcripciones de genes asociados con el crecimiento de la pared celular secundaria, como la expansina, la pectina metilesterasa, la xiloglucano endo-transglucosilasa/hidrolasa, las tubulinas y el arabinogalactano similar a la fasciclina, y recopilaron su influencia en la morfología de la fibra y las propiedades biomecánicas de la madera. Sin embargo, hasta la fecha no se ha publicado ninguna investigación sobre los genes implicados en las propiedades anatómicas de los árboles de *E. globulus*.

Conclusiones

El *Eucalyptus globulus* es una importante especie de madera dura utilizada por la industria de la pulpa y el papel en los países de clima mediterráneo. Con el fin de optimizar su selección para la propagación clonal y comprender su pulpabilidad, se han estudiado diferentes enfoques. En esta revisión se resumieron los resultados más recientes utilizando genotipos contrastados, con la característica de que los árboles de *E. globulus* evaluados correspondían a árboles no emparentados que crecían en el mismo campo o en plantaciones de ensayo. Sin embargo, debido a la lentitud de los métodos de caracterización de la madera y la pulpa, se ha utilizado un número reducido de muestras y, para aumentar la significación estadística de los resultados, se requiere el análisis adicional de un mayor número de árboles. Teniendo en cuenta este inconveniente, también hay que considerar que algunas correlaciones pueden estar sobrestimadas debido a las características contrastadas de las muestras estudiadas, por lo que se recomiendan nuevas investigaciones para confirmar los resultados. No obstante, los resultados son útiles para formular hipótesis y enfocar mejor el estudio del comportamiento de los rasgos del *E. globulus* en el futuro.

Actualmente, la mayoría de las investigaciones publicadas sobre el *E. globulus* se han centrado en la aplicación y evaluación de métodos de aislamiento, la valorización de componentes y la variación intraárbol (Lourenço *et al.*, 2010, 2012, 2013; Costa *et al.*, 2014; Gominho *et al.*, 2015; Gallina *et al.*, 2016; Liang *et al.*, 2016; Romaní *et al.*, 2016; Saito *et al.*, 2016). Sin embargo, las asociaciones químicas y anatómicas de la madera con la pulpabilidad del *E. globulus* aún no se han establecido por completo. El uso de genotipos contrastados ha sido útil para dilucidar información sobre propiedades químicas y anatómicas asociadas a su pulpabilidad y comportamiento; sin embargo, es necesario generar conocimientos adicionales. Los genotipos contrastados del *E. globulus* mostraron diferencias en las características químicas, incluyendo el contenido de lignina, la cantidad de unidades S y G, los enlaces β -O-4, la presencia de lignina en la capa S₂, el contenido de xilano, la retención de xilano, el grado de sustitución de los residuos de xilosa con MeGlcA y HexA, y la masa molar del xilano, que tienen implicaciones directas en los procesos de deslignificación y en el rendimiento de la pulpa. Sin embargo, las asociaciones entre los componentes de la madera también son importantes y no se conocen bien en los árboles de *E. globulus*. Salazar *et al.* (2016) evaluaron el *E. globulus* y el *E. urophylla* con características químicas contrastadas, donde el *E. urophylla* era más recalcitrante a la fragmentación y solubilización de la lignina que el *E. globulus*. Los autores atribuyeron la recalcitrancia del *E. urophylla*, además de a su composición química, a las fuertes asociaciones entre la lignina y los polímeros de la pared celular. En cambio, los polímeros de la pared celular del *E. globulus* parecen estar

poco unidos, lo que facilita la deconstrucción de la pared celular.

En cuanto a las propiedades anatómicas, el *E. globulus* de alta densidad tenía paredes celulares de fibra más gruesas, menor anchura del lumen de la fibra, mayor relación de Runkel y mayor rugosidad que el *E. globulus* de baja densidad. Sin embargo, una evaluación adecuada de las propiedades anatómicas debería incluir, además de la variación radial, los cambios anatómicos y las correlaciones de rasgos a diferentes alturas de los árboles, con el fin de establecer la uniformidad de las variables anatómicas a lo largo del tronco del árbol. Los presentes resultados indican que las características de la lignina, el xilano y la biometría de la fibra de una misma especie muestran diferencias importantes que pueden influir en el rendimiento y las propiedades de la pulpa. En consecuencia, los programas de mejora y las estrategias de selección de árboles son fundamentales para obtener los mejores genotipos clonales con características adecuadas para la producción de pulpa y papel, incluidos los parámetros asociados a las características químicas y anatómicas en los programas de mejora del *E. globulus*.

Un resultado interesante de la investigación sobre genotipos contrastados son las correlaciones observadas en el nivel de expresión de la F5H con el rendimiento de la pulpa y las características de la lignina, lo que demuestra que los niveles de transcripción de la F5H podrían utilizarse como una medida indirecta de estos rasgos. Sin embargo, dado que varios genes están asociados a la formación de la madera, es importante generar más información para comprender el proceso de formación de la madera, así como identificar los genes más relevantes implicados en la biosíntesis de los elementos químicos y anatómicos. Con estos conocimientos, puede ser posible diseñar estrategias que permitan aplicar nuevas tecnologías para la mejora de los árboles con el fin de ayudar a la selección clonal, mejorar el impacto en los programas tradicionales de mejora del eucalipto, acortar el ciclo de mejora e identificar genotipos útiles para fines específicos.

Por último, concluimos que se necesitan más investigaciones sobre el *E. globulus* para confirmar los resultados recopilados en esta revisión. Para futuras investigaciones en especies forestales, consideramos que esta es la columna vertebral de información que será de utilidad para fines forestales y de la industria de la celulosa, lo cual proporcione una visión integral que combine los efectos de diferentes caracteres anatómicos y químicos sobre la pulpabilidad, para permitir el diseño de estrategias de selección genética y mejora de la especie.

Referencias

- Aguayo MG, Ferraz A, Elissetche JP, Masarin F, Mendonça RT. 2013. Lignin chemistry and topochemistry during kraft delignification of *Eucalyptus globulus* genotypes with contrasting pulpwood characteristics. *Holzforschung* 68: 623–629.
- Aguayo MG, Ruiz J, Norambuena M, Mendonça RT. 2015. Structural features of dioxane lignin from *Eucalyptus globulus* and their relationship with the pulp yield of contrasting genotypes. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 17: 625–636.
- Anterola A, Lewis N. 2002. Trends in lignin modification: a comprehensive analysis of the effects of genetic manipulations/mutations on lignifications and vascular integrity. *Phytochemistry* 61: 221–294.
- Baucher M, Chabbert B, Pilate G, van Doorselaere J, Tollier MT, Petit-Conil M, Cornu D, Monties B, van Montagu M, Inzé D, Jouanin L, Boerjan W. 1996. Red xylem and higher lignin extractability by down-regulating a cinnamyl alcohol dehydrogenase in poplar (*Populus tremula* × *P. alba*). *Plant Physiology* 112: 1479–1490.
- Baucher M, Halpin C, Petit Conil M, Boerjan W. 2003. Lignin: genetic engineering and impact on pulping. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology* 38: 305–350.
- Boerjan W, Ralph J, Baucher M. 2003. Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* 54: 519–546.
- Butterfield B. 2006. The structure of wood: form and function. In: Walker JCF (ed), *Primary wood processing*. Dordrecht: Springer. pp 1–22.
- Calvo-Flores FG, Dobado JA. 2010. Lignin as renewable raw material. *ChemSusChem* 3: 1227–1235.
- Carrillo I, Aguayo MG, Valenzuela S, Mendonça RT, Elissetche JP. 2015. Variations in wood anatomy and fiber biometry of *Eucalyptus globulus* genotypes with different wood density. *Wood Research* 60: 1–10.
- Carrillo I, Elissetche JP, Valenzuela S, Mendonça RT. 2013. Anatomical elements formation in hardwoods: a review from a genomic perspective. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 15: 93–104.
- Chiang VL, Funaoka M. 1990. The dissolution and condensation reactions of guaiacyl and syringyl units in residual lignin during kraft delignification of Sweetgum. *Holzforschung* 44: 147–155.
- Clarke CR, Palmer B, Gouden D. 2008. Understanding and adding value to *Eucalyptus* fibre. *Southern Forests* 70: 169–174.
- Collins DJ, Piloti CA, Wallis AFA. 1990. Correlation of chemical composition and kraft pulping properties of some Papua New Guinea reforestation woods. *Appita Journal* 43: 193–195.
- Costa CAE, Pinto PCR, Rodrigues AE. 2014. Evaluation of chemical processing impact on *E. globulus* wood lignin and comparison with bark lignin. *Industrial Crops and Products* 61: 479–491.
- Cotterill P, Macrae S. 1997. Improving eucalyptus pulp and paper quality using genetic selection and good organization. *Tappi Journal* 80(6): 82–89.
- Dean GH. 1995. Objectives for wood fibre quality and uniformity. In: Potts BM, Borralho NMG, Reid JB, Cromer RN, Tibbits WN, Raymond CA (eds), *Eucalypts plantations: improving fibre yield and quality: CRCTHF-IUFRO conference, 19–24 February, Hobart, Australia*. Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry. pp 5–9.
- del Río JC, Gutiérrez A, Hernando M, Landín P, Romero J, Martínez AT. 2005. Determining the influence of eucalypt lignin composition in paper pulp yield using Py-GC/MS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 74: 110–115.
- Doughty RW. 2000. *The Eucalyptus: a natural and commercial history of the gum tree*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Downes GM, Hudson IL, Raymond CA, Dean GH, Michell AJ, Schimleck LR, Evans R, Muneri A. 1997. *Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties*. Melbourne: CSIRO Publishing.
- Dutt D, Tyagi CH. 2011. Comparison of various *Eucalyptus* species for their morphological, chemical. Pulp and paper making characteristics. *Indian Journal of Chemical Technology* 18: 145–151.
- Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G (eds). 2009. *Pulp and paper chemistry and technology, vol. 1: Wood chemistry and wood biotechnology*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Elissetche JP, Valenzuela S, García R, Norambuena M, Iturra C, Rodríguez J, Mendonça RT, Balocchi C. 2011. Transcript abundance of enzymes involved in lignin biosynthesis of *Eucalyptus globulus* genotypes with contrasting levels of pulp yield and wood density. *Tree Genetics and Genomes* 7: 697–705.
- Franke R, McMichael C, Meyer K, Shirley A, Cusumano J, Chapple C. 2000. Modified lignin in tobacco plants over-expressing the *Arabidopsis* gene encoding ferulate 5-hydroxylase. *The Plant Journal* 22: 223–234.
- Gallina G, Cabeza A, Biasi P, García-Serna J. 2016. Optimal conditions for hemicelluloses extraction from *Eucalyptus globulus* wood: hydrothermal treatment in a semi-continuous reactor. *Full Processing Technology* 148: 350–360.
- Gellerstedt G. 2009. Chemistry of bleaching of chemical pulp. In: Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G (eds), *Pulp and paper chemistry and technology, vol. 2: Pulping chemistry and technology*. Berlin: Walter de Gruyter. pp 97–104.
- Gomes FJB, Colodette JL, Burnet A, Batalha LAR, Santos FA, Demuner IF. 2015. Thorough characterization of Brazilian new generation of eucalypt clones and grass for pulp production. *International Journal of Forestry Research* 2015: Art. #814071, 10 pages.
- Gomide J, Colodette J, Oliveira R, Silva C. 2005. Technological characterization of the new generation of *Eucalyptus* clones in Brazil for kraft pulp production. *Revista Árvore* 29: 129–137.
- Gominho J, Lourenço A, Neiva D, Fernandes L, Amaral ME, Duarte AP, Simoes R, Pereira H. 2015. Variation of wood pulping and bleached pulp properties along the stem in mature *Eucalyptus globulus* trees. *BioResources* 10: 7808–7816.
- González-Vila FJ, Almendros G, del Río JC, Martín F, Gutiérrez A, Romero J. 1999. Ease of delignification assessment of wood from different *Eucalyptus* species by pyrolysis (TMAH)-GC/MS and CP/MAS ¹³C-NMR spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 49: 295–305.
- Guerra A, Elissetche J, Norambuena M, Freer J, Valenzuela J, Rodríguez J, Balocchi C. 2008. Influence of lignin structural features on *Eucalyptus globulus* kraft pulping. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 47: 8542–8549.
- Huntley S, Ellis D, Gilbert M, Chapple C, Mansfield S. 2003. Significant increase in pulping efficiency in C4H:F5H-transformed poplars: improved chemical savings and reduced environmental toxins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6178–6183.
- Jorge F, Quilhó T, Pereira H. 2000. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulus*. *IAWA Journal* 21: 41–48.
- Kawaoka A, Nanto K, Ishii K, Ebinuma H. 2006. Reduction of lignin content by suppression of expression of the LIM domain

- transcription factor in *Eucalyptus camaldulensis*. *Silvae Genetica* 55: 269–277.
- Kibblewhite RP, Evans R, Riddell MJC. 2004. Interrelationships between kraft handsheet, and wood fiber and chemical properties for the trees and logs of 29 *Eucalyptus fastigata* and 29 *E. nitens*. *Appita Journal* 57: 317–325.
- Kibblewhite RP, Johnson BI, Shelbourne CJA. 2000. Kraft pulp qualities of *Eucalyptus nitens*, *E. globulus*, and *E. maidenii*, at ages 8 and 11 years. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30: 447–457.
- Kibblewhite RP, Riddell MJC. 2000. Wood and kraft fibre property variation within and among nine trees of *Eucalyptus nitens*. *Appita Journal* 53: 237–244.
- Kube PD, Raymond CA, Banham PW. 2001. Genetic parameters for diameter, basic density, cellulose content and fibre properties for *Eucalyptus nitens*. *Forest Genetics* 8: 285–294.
- Li C, Zhao X, Wang A, Huber GW, Zhang T. 2015. Catalytic transformation of lignin for the production of chemicals and fuels. *Chemical Reviews* 115: 11559–11624.
- Li L, Zhou Y, Cheng X, Sun J, Marita JM, Ralph J, Chiang VL. 2003. Combinatorial modification of multiple lignin traits in trees through multigene cotransformation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 100: 4939–4944.
- Liang X, Liu J, Fu Y, Chang J. 2016. Influence of anti-solvents on lignin fractionation of *Eucalyptus globulus* via green solvent system pretreatment. *Separation and Purification Technology* 163: 258–266.
- Lima JT, Breese MC, Cahalan CM. 2000. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. *Wood Science and Technology* 34: 197–206.
- Lourenço A, Gominho J, Marques AV, Pereira H. 2012. Reactivity of syringyl and guaiacyl lignin units and delignification kinetics in the kraft pulping of *Eucalyptus globulus* wood using Py-GC-MS/FID. *Bioresource Technology* 123: 296–302.
- Lourenço A, Gominho J, Marques AV, Pereira H. 2013. Variation of lignin monomeric composition during kraft pulping of *Eucalyptus globulus* heartwood and sapwood. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 33: 1–18.
- Lourenço A, Gominho J, Pererira H. 2010. Pulping and delignification of sapwood and heartwood from *Eucalyptus globulus*. *Journal of Pulp and Paper Science* 26: 63–69.
- Magaton AS, Colodette JL, Gouvêa AFG, Gomide JL, Muguet MCS, Pedrazzi C. 2009. *Eucalyptus* wood quality and its impact on kraft pulp production and use. *Tappi Journal* 2009(8): 32–39.
- Magaton AS, Colodette JL, Pilo-Veloso D, Gomide JL. 2011. Behavior of *Eucalyptus* wood xylans across kraft cooking. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 31: 58–72.
- Magaton AS, Silva T, Colodette JL, Pilo-Veloso D, Reis Milagres F. 2013. Behavior of xylans from *Eucalyptus* species. Part 1. The influence of structural features of eucalyptus xylans on their retention in kraft pulp. *Holzforschung* 67: 115–122.
- Mansfield SD, Weineisen H. 2007. Wood fiber quality and kraft pulping efficiencies of trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx) clones. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 27: 135–151.
- Martínez P, Pereira M, Mendonça RT. 2015. Retention and structure of xylans from *Eucalyptus globulus* genotypes with different pulpwood characteristics. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 35: 129–136.
- Meyer K, Shirley A, Cusumano J, Bell-Lelong D, Capple C. 1998. Lignin monomer composition is determined by the expression of a cytochrome P450-dependent monooxygenase in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 95: 6619–6623.
- Miranda I, Pereira H. 2002. Variation in pulpwood quality with provenances and site in *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science* 59: 283–291.
- Myburg A, Potts B, Marques C, Kirst M, Gion J, Grattapaglia D, Grima Pettenati J. 2007. *Eucalyptus*. In: Kole C (ed.), *Genome mapping and molecular breeding in plants*. New York: Springer. pp 115–160.
- Novaes E, Kirst M, Chiang V, Winter-Sederoff H, Sederoff R. 2010. Lignin and biomass: a negative correlation for wood formation and lignin content in trees. *Plant Physiology* 154: 1–7.
- Novaes E, Osorio L, Drost D, Miles B, Boaventura-Novaes C, Benedict C, Dervinis C, Yu Q, Sykes R, Davis M, Martin T, Peter G, Kirst M. 2009. Quantitative genetic analysis of biomass and wood chemistry of *Populus* under different nitrogen levels. *New Phytologist* 182: 878–890.
- Ona T, Sonoda T, Ito K, Shibata M, Tamai Y, Kojima K, Ohshima J, Yokota S, Yoshizawa N. 2001. Investigation of relationships between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations. *Wood Science and Technology* 35: 229–243.
- Osakabe K, Chung Tsao C, Li L, Popko J, Umezawa T, Carraway D, Smeltzer R, Joshi C, Chiang V. 1999. Coniferyl aldehyde 5-hydroxylation and methylation direct syringyl lignin biosynthesis in angiosperms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96: 8955–8960.
- Patt R, Kordsachia O, Fehr J. 2006. European hardwoods versus *Eucalyptus globulus* as a raw material for pulping. *Wood Science and Technology* 40: 39–48.
- Pinto PC, Evtuguin DV, Pascoal Neto CP. 2005. Effect of structural features of wood biopolymers on hardwood pulping and bleaching performance. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 44: 9777–9784.
- Pinto PC, Evtuguin DV, Pascoal Neto C, Silvestre AJD. 2002a. Behaviour of *Eucalyptus globulus* lignin during kraft pulping. I. Analysis by chemical degradation methods. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 22: 93–108.
- Pinto PC, Evtuguin DV, Pascoal Neto C, Silvestre AJD. 2002b. Behaviour of *Eucalyptus globulus* lignin during kraft pulping. II. Analysis by NMR, ESI/MS and GPC. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 22: 109–125.
- Potts B, Vaillancourt RE, Jordan GJ, Dutkowski GW, da Costa e Silva J, McKinnon GE, Steane DA, Volker PW, Lopez GA, Apolaza L, Li J, Marques C, Borralho NMG. 2004. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. In: Borralho N, Pereira JS, Marques C, Coutinho J, Madeira M, Tomé M (eds), *Eucalyptus in a changing world: international IUFRO conference of the WP2.08.03 on silviculture and improvement of eucalypts*, 11–15 October, Aveiro, Portugal. Aveiro: RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e Papel. pp 46–61.
- Quilhó T, Miranda I, Pereira H. 2006. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA Journal* 27: 243–254.
- Ralph J. 2010. Hydroxycinnamates in lignification. *Phytochemistry Reviews* 9: 65–83.
- Ralph J, Lundquist K, Brunow G, Lu F, Kim H, Schatz PF, Marita JM, Hatfield RD, Ralph SA, Christensen JH, Boerjan W. 2004. Lignins: natural polymers from oxidative coupling of 4-hydroxyphenyl-propanoids. *Phytochemistry Reviews* 3: 29–60.
- Ramírez M, Rodríguez J, Balocchi C, Peredo M, Elisseche JP, Mendonça R, Valenzuela S. 2009a. Chemical composition and

- wood anatomy of *Eucalyptus globulus* clones: variations and relationships with pulpability and handsheet properties. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 29: 43–58.
- Ramírez M, Rodríguez J, Peredo M, Valenzuela S, Mendonça R. 2009b. Wood anatomy and biometric parameters variation of *Eucalyptus globulus* clones. *Wood Science and Technology* 43: 131–141.
- Raymond CA, Banham P, Macdonald AC. 1998. Within tree variation and genetic control of basic density, fiber length, and coarseness in *Eucalyptus regnans* in Tasmania. *Appita Journal* 51: 299–305.
- Raymond CA, Muneri A. 2001. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. *Wood Science and Technology* 35: 27–39.
- Rehbein M, Pereira M, Koch G, Kordsachia O. 2010. Topochemical investigation into the delignification of *Eucalyptus globulus* chips during semi-chemical sulfite pulping. *Wood Science and Technology* 44: 435–449.
- Rencoret J, Gutiérrez A, Nieto L, Jiménez-Barbero J, Faulds CB, Kim H, Ralph J, Martínez AT, del Río JC. 2011. Lignin composition and structure in young versus adult *Eucalyptus globulus* plants. *Plant Physiology* 155: 667–682.
- Rencoret J, Marques G, Gutiérrez A, Ibarra D, Li J, Gellerstedt G, Santos JI, Jiménez-Barbero J, Martínez AT, del Río JC. 2008. Structural characterization of milled wood lignin from different eucalypt species. *Holzforschung* 62: 514–526.
- Rinaldi R, Jastrzebski R, Clough MT, Ralph J, Kennema M, Bruijninx CA, Weckhuysen BM. 2016. Paving the way for lignin valorization: recent advances in biorefining, biorefining and catalysis. *Angewandte Chemie International Edition* 55: 8164–8215.
- Romani A, Ruiz HA, Teixeira JA, Domingues L. 2016. Valorization of *Eucalyptus* wood by glycerol-organosolv pretreatment within the biorefinery concept: an integrated and intensified approach. *Renewable Energy* 95: 1–9.
- Rutkowska EW, Wollboldt P, Zuckerstätter G, Weber HK, Sixta H. 2009. Characterization of structural changes in lignin during continuous batch kraft cooking of *Eucalyptus globulus*. *BioResources* 4: 172–193.
- Saito K, Horikawa Y, Sugiyama J, Watanabe T, Yoshinori K, Takabe K. 2016. Effect of thermochemical pretreatment on lignin alteration and cell wall microstructural degradation in *Eucalyptus globulus*: comparison of acid, alkali, and water pretreatments. *Journal of Wood Science* 62: 276–284.
- Salazar MM, Grandis A, Pattathil S, Lepikson N, Camargo ELO, Alves A, Rodrigues JC, Squina F, Cairo JPF, Buckeridge MS, Hahn MG, Pereira GAG. 2016. *Eucalyptus* cell wall architecture: Clues for lignocellulosic biomass deconstruction. *BioEnergy Research* 9: 969–979.
- Sandercock CF, Sands R, Ridoutt BG, Wilson LF, Hudson I. 1995. Factors determining wood microstructure in *Eucalyptus*. In: Potts BM, Borralho NMG, Reid JB, Cromer RN, Tibbits WN, Raymond CA (eds), *Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality*. Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry. pp 128–135.
- Scheller H, Ulvskov P. 2010. Hemicelluloses. *Annual Reviews in Plant Biology* 61: 263–289.
- Shinya T, Iwata E, Nakahama K, Fukuda Y, Hayashi K, Nanto K, Rosa AC, Kawaoka A. 2016. Transcriptional profiles of hybrid *Eucalyptus* genotypes with contrasting lignin content reveal that monolignol biosynthesis-related genes regulate wood composition. *Frontiers in Plant Science* 7: 443.
- Sixta H. 2006. *Handbook of pulp*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Sjöström E. 1993. *Wood chemistry: fundamentals and applications* (2nd edn). San Diego: Academic Press.
- Stewart J, Akiyama T, Chapple C, Ralph J, Mansfield SD. 2009. The effects on lignin structure of overexpression of ferulate 5-hydroxylase in hybrid poplar. *Plant Physiology* 150: 621–635.
- Turnbull JW. 1999. Eucalypt plantations. *New Forests* 17: 37–52.
- Turnbull JW, Pryor LD. 1984. Choice of specific and seed sources. In: Hillis WE, Brown AG (eds), *Eucalyptus for wood production*. London: Academic Press. pp 6–65.
- van Doorselaere J, Baucher M, Chognot E, Chabbert B, Tollier MT, Petit-Conil M, Leplé JC, Pilate G, Cornu D, Monties B, Van Montagu M, Inzé D, Boerjan W, Jouanin L. 1995. A novel lignin in poplar trees with a reduced caffeic acid/ 5-hydroxyferulic acid O-methyltransferase activity. *Plant Journal* 8: 855–864.
- Vanholme R, Morrel K, John R, Boerjan W. 2008. Lignin engineering. *Plant Biology* 11: 278–285.
- Via BK, Stine M, Shupe T, So CH, Groom L. 2004. Genetic improvement of fiber length and coarseness based on paper product performance and material variability—a review. *IAWA Journal* 25: 401–414.
- Wate PA, Chamshama SAO, Mugasha AG. 1999. The survival, growth and wood basic densities of 14 year old *Eucalyptus camaldulensis* at Michafutene, Mozambique. *Southern African Forestry Journal* 186: 19–27.
- Whetten R, MacKay J, Sederoff R. 1998. Recent advances in understanding lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 585–609.
- Wimmer R, Downes GM, Evans R, Rasmussen G, French J. 2002. Direct effects of wood characteristics on pulp and paper handsheet properties of *Eucalyptus globulus*. *Holzforschung* 56: 244–252.

Recibido el 5 de junio de 2016, revisado el 14 de noviembre de 2016, aceptado el 26 de noviembre de 2016.

Yo, Carlos Julio Carrero, el abajo firmante, Traductor Oficial Inglés – Español en y para la República de Colombia, según Certificado Profesional No. 0314 de fecha 14 de septiembre de 2010; por medio del presente CERTIFICO que me fue entregado un documento en idioma inglés, cuya traducción consta en las siguientes veintiocho (28) páginas.

La traducción que sigue a continuación es una traducción fiel al idioma español del documento adjunto, la cual ha sido realizada a petición de la parte interesada. En fe de lo cual, estampo mi sello y firma a continuación en la ciudad de Bogotá en este día 4 de septiembre del 2025.

Carlos Julio Carrero

Traductor Oficial No. 0314



Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

Consulte los análisis, las estadísticas y los perfiles de los autores de esta publicación en: <https://www.researchgate.net/publication/323620473>

Nanocelulosas a partir de biomasa de caña de azúcar

Capítulo - Enero de 2018

DOI: 10.1016/B978-0-12-804534-3.00009-4

CITAS

44

LECTURAS

3392

2 autores:



Bárbara Pereira

Universidade de São Paulo

16 PUBLICACIONES 404 CITAS

CONSULTAR
PERFIL



Valdeir Arantes

Universidade de São Paulo

85 PUBLICACIONES 5706 CITAS

CONSULTAR
PERFIL

Todo el contenido que sigue a esta página fue subido por [Valdeir Arantes](#) el 4 de diciembre de 2018.

El usuario ha solicitado la mejora del archivo descargado.

Capítulo 9

Nanocelulosas a partir de biomasa de caña de azúcar

Bárbara Pereira y Valdeir Arantes
Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

9.1 INTRODUCCIÓN

La biomasa lignocelulósica abunda en la naturaleza y se considera el mayor recurso renovable del planeta. Además, tiene la ventaja de estar disponible en todo el mundo, con grandes cantidades en muchas regiones del planeta (Field *et al.*, 2008). También, tiene un enorme potencial como fuente de carbono sostenible y renovable para la producción de combustibles, productos químicos y materiales de origen biológico como sustitutos de los productos derivados del petróleo.

La caña de azúcar es uno de los cultivos agrícolas más extendidos en el mundo y una de las principales materias primas lignocelulósicas explotadas industrialmente, que genera una gran cantidad de bagazo (residuo agroindustrial) tras su procesamiento para la extracción de sacarosa y posterior producción de azúcar y etanol de primera generación (1G)(Bezerra y Ragauskas, 2016; Rocha *et al.*, 2015). El bagazo de caña de azúcar, como cualquier otra biomasa lignocelulósica, está compuesto principalmente por polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) y lignina. La celulosa es el polímero renovable con mayor disponibilidad del planeta, con $7,5 \times 10^{10}$ toneladas anuales disponibles (Habibi y Lucia, 2012). En el bagazo de caña, la celulosa representa casi la mitad de su composición (Rocha *et al.*, 2015), lo que lo convierte en un material con un enorme potencial para la obtención de pulpa celulósica para aplicaciones industriales.

La celulosa ha atraído desde hace tiempo el interés industrial, ya que es un biopolímero natural muy versátil con aplicaciones bien establecidas en muchas industrias (por ejemplo, pulpa y papel, textil, farmacéutica, cosmética y alimentación animal)(Klemm *et al.*, 2005; Rebouillat y Pla, 2013). Debido al gran mercado comercial y a la demanda de celulosa durante décadas, existen muchos métodos para la producción de pulpa celulósica mediante el aislamiento de la celulosa a partir de materiales lignocelulósicos. En general, esto suele conseguirse mediante tratamientos mecánicos, térmicos y químicos combinados. El procesamiento posterior de la celulosa, es decir, la deconstrucción controlada de la celulosa aislada, puede dar lugar a partículas de tamaño nanométrico que tengan al menos una de sus dimensiones, diámetro o longitud, inferior a 100 nm (Dufresne, 2012; Shatkin *et al.*, 2014). Estas partículas se denominan nanocelulosas, y cuando se obtienen a partir de biomasa vegetal se dividen básicamente en dos tipos: nanocristales de celulosa (NCC) y nanofibrillas de celulosa (NFC).

Las nanocelulosas son una nueva clase de biomateriales que, debido a sus propiedades únicas, atraen cada vez más la atención de investigadores de todo el mundo en los ámbitos académico, gubernamental e industrial. Aunque se trata de un biomaterial relativamente nuevo, las posibles

aplicaciones de las nanocelulosas son innumerables y van en aumento, y muchas de ellas son ya una realidad.

En las siguientes secciones, se ofrece una breve visión general de la celulosa de la caña de azúcar y de los métodos adecuados para el aislamiento de la celulosa del bagazo de caña de azúcar, seguida de un análisis sobre la producción y las propiedades de las nanocelulosas a partir del bagazo de caña de azúcar.

9.2 CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Una caracterización detallada de la composición química de 60 muestras de bagazo de caña de azúcar de diferentes variedades, lugares cultivados, suelos, temporada de cosecha y clima, mostró que la composición química del bagazo de caña de azúcar osciló en promedio entre 39,5 % y 45,7 % para la celulosa, 25,6 % y 29,6 % para la hemicelulosa, 18,9 % y 26,1 % para la lignina, 2,3 % y 10,5 % para los extractivos y 1,1 % y 6,0 % para las cenizas (Rocha *et al.*, 2015).

La celulosa, principal componente del bagazo de caña de azúcar, es un biopolímero lineal de unidades de anhidroglucosa unidas por enlaces β -1,4 glicosídicos. La conformación lineal de las cadenas de celulosa viene dada por una rotación de 180 grados de los residuos de glucosa circundantes en el enlace glucosídico, con un grado de polimerización (el número de residuos de anhidroglucosa que constituyen una cadena de celulosa) que puede variar entre 7000 y 15.000 (Fengel y Wegener, 1983; Sjostrom, 1993). Los hidroxilos libres en los carbonos de los residuos de anhidroglucosa de las cadenas de celulosa son capaces de formar interacciones inter e intramoleculares mediante enlaces de hidrógeno. Además de estos enlaces, las cadenas de celulosa también sufren la acción de las interacciones de van der Waals, que promueven la formación de los aglomerados longitudinales de cadenas de celulosa denominados fibrillas (Ek *et al.*, 2009).

Durante mucho tiempo se creyó que las fibrillas de celulosa estaban formadas por unas 36 cadenas de celulosa (Delmer y Amor, 1995; Ek *et al.*, 2009; Fengel y Wegener, 1983) con aproximadamente 3 nm de diámetro (Ek *et al.*, 2009; Ha *et al.*, 1998). Sin embargo, estudios recientes indican que las fibrillas están formadas por un número de cadenas de celulosa que oscila entre 18 y 24 (Fernandes *et al.*, 2011; Thomas *et al.*, 2013), con una tendencia a 24 cadenas debido a la geometría observada en la sección transversal de las fibrillas (Cosgrove, 2014). Además, las fibrillas de celulosa se aglomeran longitudinalmente formando microfibrillas, que tienen regiones de alta y baja organización conocidas como regiones cristalinas y amorfas, respectivamente (Fengel y Wegener, 1983).

CUADRO 9.1 Propiedades típicas promedio de la celulosa de bagazo de caña de azúcar, madera dura y madera blanda

Fuente de celulosa	MW (g/mol)	Tamaño de la fibra (mm)	GP	Diámetro (μ m)	ICr (%)
Bagazo de caña de azúcar	157.800-168.000	1,0-1,5	974-1039	20	56,7
Madera dura	648.000-891.000	1,25	4000-5500	25	54
Madera blanda	648.000-891.000	3,0	4000-5500	30	57

ICr: índice de cristalinidad; GP: grado de polimerización; MW: peso molecular.

Los valores se basan en Bezerra y Ragauskas (2016) y Hurter (2001) para la celulosa de bagazo de caña de azúcar, y

Hallac y Ragauskas (2011), Hunter (2001) y Newman y Hemmingson (1990) para las celulosas de madera dura y blanda.

Aunque la celulosa de distintas fuentes comparte muchas similitudes estructurales, el tamaño de las fibras puede variar según la fuente de la que se extraiga. Se ha informado que la celulosa del bagazo de caña de azúcar tiene un peso molecular promedio de alrededor de 157.800-16.800 g/mol, un tamaño de fibra en el rango de 1,0-1,5 mm, un grado promedio de polimerización (DP_w) de alrededor de 974-1039, y un índice de cristalinidad de alrededor de 57 % (Cuadro 9.1). En comparación con las fibras de maderas duras y blandas, las fuentes de celulosa más comunes y relevantes desde el punto de vista industrial, las fibras celulósicas de la caña de azúcar, son más pequeñas que las fibras de maderas blandas y similares en tamaño a las fibras de maderas duras (Cuadro 9.1).

9.2.1 *Métodos de extracción de celulosa del bagazo de caña de azúcar*

A escala industrial, los métodos más empleados para aislar la celulosa son los procesos de fabricación de pulpa Kraft, de base alcalina, y de pulpa de sulfito, de base ácida. En la primera, la mayor parte de la lignina se solubiliza químicamente y parte de las hemicelulosas se disuelven, generando una pulpa con alrededor del 65 % y 80 % de celulosa. El tratamiento posterior con agentes blanqueadores elimina la mayor parte de la lignina restante, aumentando así el contenido de celulosa de la pulpa. La pulpa Kraft representa alrededor del 75 % del mercado mundial de pulpa celulósica. Esta última produce una pulpa rica en celulosa casi pura (>90 % de celulosa)(Sixta, 2006), pero sólo representa un pequeño segmento del mercado mundial de la pulpa celulósica. En comparación con la fabricación de pulpa al sulfito, la fabricación de pulpa Kraft tiene la ventaja de producir fibras más resistentes y la capacidad de aceptar una mayor variedad de materias primas (Sixta, 2006; Young, 1994).

El tratamiento por explosión de vapor se ha investigado anteriormente como método destinado a extraer la hemicelulosa de las astillas de madera antes del despulpado químico, el denominado concepto de “valor añadido antes del despulpado” (Mosier *et al.*, 2005; Zhu y Pan, 2010). En las últimas décadas, el tratamiento por explosión de vapor ha despertado un interés creciente en todo el mundo, y últimamente se ha convertido en el método preferido para el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica (Mosier *et al.*, 2005; Taherzadeh y Karimi, 2008), especialmente para residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar en el proceso de bioconversión de lignocelulosa en etanol (Kaar *et al.*, 1998; Kumar *et al.*, 2009). El proceso por explosión de vapor consiste en el tratamiento de la biomasa con vapor saturado a alta presión durante un corto período de tiempo (de 30 s a 20 min)(Taherzadeh y Karimi, 2008), promoviendo la expansión térmica de la biomasa, seguida de una rápida descompresión que puede conducir a la reducción del tamaño de las partículas, y a un aumento del tamaño de los poros de la biomasa (Alvira *et al.*, 2010; Mosier *et al.*, 2005). Puede realizarse en ausencia o en presencia de un catalizador ácido exógeno añadido a la biomasa vegetal. Se ha demostrado que la adición de un catalizador ácido aumenta la eliminación de hemicelulosa (Alvira *et al.*, 2010; Mosier *et al.*, 2005). Sin embargo, además de ser eficaz en la eliminación de hemicelulosa, el tratamiento por explosión de vapor no es capaz de romper completamente el complejo lignina-carbohidrato y promueve cambios en la estructura de la lignina que pueden dificultar su extracción (Agbor *et al.*, 2011; Hendriks y Zeeman, 2009; Li *et al.*, 2007), por lo que, para generar una pulpa con alto contenido en celulosa, se requieren pasos posteriores, como tratamientos alcalinos para la eliminación de la lignina modificada.

Los tratamientos alcalinos son capaces de eliminar grandes cantidades de la lignina, y parte de

las hemicelulosas presentes en la biomasa, aumentando la pureza de la celulosa. El hidróxido de sodio (NaOH) es uno de los reactivos alcalinos más utilizados (Hu y Ragauskas, 2012). Los tratamientos alcalinos también son capaces de aumentar la superficie de la celulosa por hinchamiento de la estructura celulósica (Alvira *et al.*, 2010). Sin embargo, se pueden destacar algunas desventajas como el costo, la seguridad del proceso y la dificultad de recuperar el álcali (Hu y Ragauskas, 2012). Otro inconveniente relacionado con el tratamiento utilizando el medio alcalino es la reacción de pelado que tiene lugar a temperaturas superiores a 100 °C, y provoca una disminución del grado de polimerización y del rendimiento de la celulosa (Ek *et al.*, 2009; Fengel y Wegener, 1983).

Otro método eficaz para el aislamiento de la celulosa es el proceso organosolv, que se basa en la eliminación de la lignina y la hemicelulosa mediante la acción de disolventes orgánicos, o una mezcla de agua y disolventes orgánicos (es decir, etanol, metanol, acetona, etilenglicol) catalizada o no por ácido. Aunque bastante eficiente para el aislamiento de la celulosa, es un proceso de alto costo debido al uso y recuperación de los disolventes orgánicos (Kumar *et al.*, 2009), y tiene también algunos inconvenientes de seguridad y medioambientales (Agbor *et al.*, 2011).

Métodos como la explosión de vapor y organosolv se han aplicado para la extracción de celulosa del bagazo de caña de azúcar, pero el tratamiento alcalino es el enfoque más utilizado para el aislamiento de la celulosa del bagazo de caña de azúcar para la producción de nanocelulosas (Cuadro 9.1). En este caso, se han aplicado algunos pasos del proceso alcalino industrial. Normalmente, para obtener una pulpa celulósica de alta pureza a partir del bagazo de caña de azúcar se utilizan cargas químicas elevadas (Cuadro 9.1).

CUADRO 9.2 Tratamientos ya aplicados para aislar la celulosa del bagazo de caña de azúcar para la producción de nanocelulosas

Referencias	Pasos del tratamiento	Condiciones
Lam <i>et al.</i> (2017)	Explosión de vapor	1,3 MPa, 190 °C, 15 min
	NaClO ₂ /ácido acético	70 °C, 6 h
Bansal <i>et al.</i> (2016)	Explosión de vapor (NaOH)	15 lb, 5-6 h
	NaOH/H ₂ O ₂	≈ 14 h
Camargo <i>et al.</i> (2016)	NaOH/H ₂ O ₂	55 °C, 1 h
Oliveira <i>et al.</i> (2016)	Organosolv (etanol/H ₂ O)	190 °C, 2 h
	NaOH/H ₂ O ₂	70-80 °C
Santucci <i>et al.</i> (2016)	Hidrotérmico (H ₂ O)	160 °C, 30 min
	Organosolv (etanol/H ₂ O)	180-200 °C, 1,5-2 h
Kumar <i>et al.</i> (2014)	NaClO ₂ /ácido acético	75 °C, 1 h
	KOH	90 °C, 2 h
Slavutsky y Bertuzzi (2014)	NaOH	60 °C, 4 h
	NaClO ₂	Temperatura ambiente, 24 h

Campos <i>et al.</i> (2013)	NaOH	90 °C, 1 h
	NaClO ₂ /ácido acético	75 °C, 4 h
2005; Li <i>et al.</i> (2012)	NaOH	90 °C, 1,5 h
Bhattacharya <i>et al.</i> (2008)	NaOH	80 °C, 4 h
	NaClO ₂ /ácido acético	No informado

Tras un tratamiento alcalino para aislar la celulosa, es necesario un paso (o pasos) de blanqueo para eliminar la lignina restante de la pulpa celulósica. El peróxido de hidrógeno en medio alcalino es uno de los agentes blanqueadores comúnmente utilizados para la eliminación de la lignina residual en la industria de la pulpa y el papel, y ya se ha aplicado en el proceso de obtención de celulosa para la producción de nanocelulosa a partir del bagazo de caña de azúcar (Cuadro 9.2). El proceso tiene lugar a una temperatura entre 80 °C y 110 °C, con una carga de peróxido de hidrógeno que varía entre el 0,5 % y el 4 % (p/p) (Ek *et al.*, 2009). Otro método ampliamente utilizado para la eliminación selectiva de la lignina residual del bagazo de caña es el tratamiento con clorito de sodio en ácido acético diluido (Cuadro 9.2). Cabe destacar que este método también puede promover la hidrólisis ácida o la escisión oxidativa de la celulosa, reduciendo en consecuencia su grado de polimerización (Hubbell y Ragauskas, 2010).

En general, el tratamiento alcalino, junto con el peróxido de hidrógeno, han sido los métodos preferidos para el aislamiento de la celulosa del bagazo de caña de azúcar con el objetivo de producir nanocelulosa. A pesar de disminuir la cristalinidad, este enfoque aumenta la superficie de celulosa y la eliminación de la lignina residual en las fibras celulósicas. Además, no emplea productos químicos a base de cloro, lo que hace que este método sea menos perjudicial para el medio ambiente.

9.3 PRODUCCIÓN DE NANOCELULOSAS

La nanocelulosa es un material en la escala nanométrica que tiene al menos una dimensión inferior a 100 nm (Dufresne, 2012; Habibi *et al.*, 2010; Moon *et al.*, 2011). Puede obtenerse a partir de varias fuentes de celulosa nativa, como plantas, animales, bacterias y algas. La nanocelulosa puede dividirse en tres categorías: nanocristales de celulosa (NCC) y nanofibrillas de celulosa (NFC) obtenidos a partir de biomasa vegetal (lignocelulosa), y celulosa bacteriana (CB) producida principalmente por bacterias de la especie *Acetobacter xylinum* (Dufresne, 2012). Entre las fuentes de celulosa para la producción de nanocelulosa, la biomasa lignocelulósica es la más abundante. Sin embargo, las propiedades de las nanocelulosas de origen vegetal dependen de las propiedades de las fibras de la biomasa lignocelulósica, del método de aislamiento de la celulosa y también del método empleado para la producción de nanocelulosa.

9.3.1 Producción de nanocristales de celulosa (NCC)

Los nanocristales de celulosa se producen a través de la hidrólisis preferencial de las regiones menos organizadas de la celulosa, que son más susceptibles a la acción catalítica en la ruptura de los enlaces glicosídicos. Así, las partículas liberadas durante la hidrólisis de la celulosa aislada

constituyen un material altamente cristalino denominado NCC, o cristales de celulosa (Dufresne, 2012; Habibi *et al.*, 2010; Moon *et al.*, 2011).

9.3.1.1 Hidrólisis ácida

El método utilizado tradicionalmente para la producción de NCC se basa en la hidrólisis ácida de la pulpa de celulosa con ácido fuerte. La naturaleza fuertemente empaquetada de la celulosa disminuye la accesibilidad de las regiones cristalinas, haciéndolas más resistentes al ataque ácido, por lo que las regiones menos organizadas (amorfás) de la celulosa preferiblemente se hidrolizan. Así, los nanocristales son partículas constituidas por las regiones cristalinas de la celulosa, en forma de varillas cilíndricas, que a menudo tienen diámetros inferiores a 10 nm (Bondeson *et al.*, 2006; Jonoobi *et al.*, 2015) y una longitud en el rango de 100-1000 nm (Jonoobi *et al.*, 2015).

La producción de NCC mediante hidrólisis ácida suele implicar los siguientes pasos (Brinchi *et al.*, 2013):

1. Hidrólisis ácida de la celulosa en condiciones controladas (concentración de ácido, temperatura, tiempo, agitación y proporción entre ácido y celulosa).
2. Interrupción de la reacción hidrolítica por adición de agua (esta etapa diluye los productos solubilizados), seguida de lavados sucesivos y centrifugación del residuo sólido.
3. Amplia diálisis para eliminar el ácido residual.
4. Tratamiento mecánico por sonicación para la dispersión de las partículas y la formación de una suspensión uniforme y estable.
5. Concentración de las nanopartículas y, cuando sea necesario, secado para obtener NCC sólidos.

La extracción de NCC por hidrólisis con ácidos fuertes suele dar lugar a rendimientos en torno al 30 % (Habibi *et al.*, 2010; Bondeson *et al.*, 2006), aunque un estudio reciente de Chen *et al.* (2015) informó de un rendimiento de hasta el 70 %.

El ácido más utilizado es el ácido sulfúrico (H_2SO_4) a una concentración que puede variar en torno al 65 % (p/p), a temperatura ambiente hasta 70 °C, y un tiempo de reacción que puede ser desde unos minutos hasta unas horas (Dufresne, 2012; Habibi *et al.*, 2010). Los nanocristales obtenidos por hidrólisis con ácido sulfúrico tienen cargas superficiales negativas, debido a la inserción de grupos sulfato en la superficie de la celulosa durante la hidrólisis. Esto disminuye la estabilidad térmica del NCC y aumenta la estabilidad de la suspensión coloidal de nanocristales. Además, el grado de polimerización de las cadenas de celulosa se altera significativamente, y puede estar asociado a la longitud del nanocristal (Brinchi *et al.*, 2013; Habibi *et al.*, 2010).

9.3.1.2 Hidrólisis enzimática

El primer estudio para obtener NCC mediante hidrólisis enzimática fue realizado por Filson *et al.* (2009) utilizando pulpa reciclada y el preparado enzimático comercial Celluclast de 1,5 l (Novozymes). En su estudio, los nanocristales obtenidos tenían un diámetro de entre 30 nm y 80 nm y una longitud que oscilaba entre 100 nm y 1,8 μm .

El método enzimático para obtener NCC es una alternativa atractiva a la hidrólisis ácida tradicional, ya que es capaz de reducir los impactos ambientales como la alta demanda de agua, y la generación de residuos químicos (Brinchi *et al.*, 2013; Filson *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2011).

Además, favorece la recuperación de azúcares en un proceso integrado para la obtención de bioproductos (Duran *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2011). Los nanocristales producidos mediante la hidrólisis enzimática también requieren un tratamiento mecánico por sonicación para la dispersión de las partículas (Anderson *et al.*, 2014). Los nanocristales formados por la hidrólisis enzimática de las regiones amorfas no tienen carga negativa, lo que disminuye la estabilidad de la suspensión. Por otro lado, se ha demostrado que las nanopartículas producidas por el método de hidrólisis enzimática tienen mayor estabilidad térmica y propiedades mecánicas diferenciales (Anderson *et al.*, 2014; Filson *et al.*, 2009).

9.3.2 Producción de nanofibrillas de celulosa (NFC)

Las nanofibrillas de celulosa son partículas largas de fibrillas elementales de celulosa que tienen regiones cristalinas y no cristalinas. El diámetro de la NFC puede variar de 2 nm a 20 nm, y la longitud puede ser de hasta unos pocos micrómetros, y en consecuencia la NFC tiene una alta relación de aspecto (relación longitud/diámetro de la partícula) (Jonoobi *et al.*, 2015). La desintegración de las fibras de celulosa para obtener NFC puede lograrse mediante métodos mecánicos, como la homogenización o la microfluidización a alta presión, y la desfibrilación mecánica por nanomolienda. También, se ha descrito la ultrasonificación como método de producción de NFC.

Para reducir el requisito energético del tratamiento mecánico, principalmente mediante homogenización y microfluidización, para la producción de NFC y para hacer el proceso más atractivo desde el punto de vista económico y medioambiental, se suelen asociar pretratamientos químicos o enzimáticos a los procesos de desintegración de las fibras de celulosa.

9.3.2.1 Homogenización y microfluidización a alta presión

La homogenización a alta presión es un método conocido que puede aplicarse para desfibrar la celulosa en una suspensión diluida (1 %-2 % p/p) que se bombea a través de una rendija que se abre y cierra rápidamente mediante un conjunto de válvulas de muelle. Este proceso somete a las fibras de celulosa a fuerzas de cizallamiento y descompresión a una temperatura controlada (70 °C-90 °C). Para que la suspensión adquiera un aspecto gelatinoso translúcido, indicio de que las fibras de celulosa se han desintegrado, se requieren varias pasadas por el homogenizador (10-15 pasadas) (Dufresne, 2012; Henriksson *et al.*, 2007; Khalil *et al.*, 2014).

En el proceso de microfluidización, una suspensión de fibras de celulosa se somete a bombeo a presión a través de un canal en forma de Z, con dimensiones que oscilan entre 200 µm y 400 µm. En comparación con el proceso de homogenización, la microfluidización es capaz de producir partículas con tamaños más uniformes (Khalil *et al.*, 2014). Aunque la homogenización a alta presión y la microfluidización son métodos eficientes para producir NFC, estos procesos tienen dos cuellos de botella importantes: el alto consumo de energía debido a la necesidad de muchas pasadas para alcanzar las partículas de celulosa a nanoescala; y la obstrucción frecuente (Dufresne, 2012; Wang *et al.*, 2015).

9.3.2.2 Nanomolienda

Otro método de producción de NFC es la nanomolienda en una refinadora de disco. La separación de las fibras se realiza a través de discos de piedra porosa dispuestos uno encima del otro con un pequeño espacio entre ellos. El disco superior está fijo, y el inferior realiza rotaciones establecidas

normalmente en 1500 rpm (Khalil *et al.*, 2014). En este método, las fibras de celulosa se someten a fuerzas de cizallamiento y fricción capaces de aislar las fibrillas con diámetros de 20 nm a 90 nm. En comparación con el homogenizador y el microfluidizador, el refinador de disco tiene un menor consumo de energía para el desfibrado de celulosa (Dufresne, 2012; Siqueira y Arantes, 2017; Wang *et al.*, 2012).

9.3.2.3 Ultrasonificación de alta intensidad

El método de ultrasonificación de alta intensidad está menos estudiado que los demás métodos para la producción de NFC. Zhao *et al.* (2007) utilizaron un ultrasonificador equipado con una sonda de aleación de titanio con un diámetro de 2,5 cm y una frecuencia de 20 kHz para generar nanopartículas con un diámetro en el rango de 25 nm a 120 nm. Más tarde, Wang y Cheng (2009) emplearon el mismo método para aislar la NFC, que posteriormente se caracterizó Cheng *et al.* (2009), mostrando partículas de 20 nm a 30 nm. En este método, la acción de fuerzas hidrodinámicas promueve la cavitación de las fibras de celulosa, incluyendo la formación, expansión e implosión de las microburbujas en el líquido. La eficiencia de la desfibrilación por ultrasonificación de alta intensidad depende de la energía, el tamaño de la fibra, la temperatura, el tiempo, la concentración de la suspensión de celulosa y la distancia de la sonda (Campos *et al.*, 2013; Dufresne, 2012; Khalil *et al.*, 2014; Wang y Cheng, 2009).

9.3.2.4 Tratamientos previos

Entre los pretratamientos químicos investigados para reducir la demanda energética durante la producción de NFC, destacan la oxidación con TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxilo radical) que promueve la modificación de las cargas superficiales de la celulosa (Jonoobi *et al.*, 2015; Saito *et al.*, 2009), la oxidación con NaBr y NaClO utilizados como catalizadores u oxidantes primarios (Jonoobi *et al.*, 2015) y la carboximetilación (Jonoobi *et al.*, 2015). Las cargas negativas introducidas por la reacción de oxidación promueven la repulsión de las nanofibrillas, favoreciendo la acción de fuerzas de cizallamiento o delaminación responsables de la desfibrilación (Khalil *et al.*, 2014; Siró y Plackett, 2010).

Un pretratamiento enzimático controlado también puede utilizarse como método eficaz antes de la desfibrilación mecánica. Se ha sugerido que el tratamiento enzimático puede promover el desprendimiento de las fibras de celulosa, lo que a su vez favorecería el ahorro de energía (Henriksson *et al.*, 2007; Paakko *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2011). Además, se ha demostrado que el residuo de la hidrólisis enzimática de la pulpa Kraft de eucalipto, en condiciones controladas para la producción de azúcares fermentables, también se puede utilizar para la producción de NFC (Zhu *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2014).

9.4 PRODUCCIÓN DE NANOCELULOSAS A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Independientemente de la fuente, la celulosa tiene muchas características similares, como la biodegradabilidad y la renovabilidad. Las diferencias en la morfología y el tamaño de las nanopartículas suelen estar asociadas al método por el que se aísla la celulosa de la matriz lignocelulósica y se procesa para obtener nanocelulosas (Jonoobi *et al.*, 2015).

El primer paso necesario en la producción de nanocelulosas es obtener una pulpa rica en celulosa. La mayoría de los métodos para el aislamiento de la celulosa del bagazo de caña de azúcar han

empleado tratamientos para la eliminación total o parcial de la lignina y la hemicelulosa, seguidos del blanqueo de la pulpa enriquecida con celulosa ([Cuadro 9.2](#)). La caracterización química de la pulpa celulósica producida es importante, ya que la presencia de materiales no celulósicos en la pulpa rica en celulosa puede interferir en el método posterior elegido para la producción de nanocelulosa, aumentando el rendimiento, alterando la estabilidad térmica e incluso generando nanocelulosa con nuevas aplicaciones posibles ([Santucci et al., 2016](#); [Jonoobi et al., 2015](#)).

El método más utilizado para la producción de NCC a partir de pulpa de bagazo de caña de azúcar es la hidrólisis ácida, que conduce a un aumento del índice de cristalinidad del 56,7 % ([Bezerra y Ragauskas, 2016](#)) a valores en torno al 74 % (valores promedios de cristalinidad mostrados en el [Cuadro 9.3](#)). La producción de nanocristales a partir del bagazo de caña de azúcar sólo se ha descrito en un número limitado de estudios. Por ejemplo, [Oliveira et al. \(2016\)](#) informaron de un rendimiento de NCC del 9 % al 24 %, y [Teixeira et al. \(2011\)](#) en torno al 50 % y 58 %. Estos rendimientos son distintos a los de la mayoría de los estudios sobre producción de NCC a partir de pulpa de madera, que suelen rondar el 30 % [Bondeson et al. \(2006\)](#).

Aunque la menor cristalinidad de las NFC en comparación con los materiales de partida parece ser una tendencia general, como demostraron [Li et al. \(2012\)](#), que informaron de un descenso del 60 % al 36 %, y [Zhang et al. \(2016\)](#) del 65 % al 40 %, mientras que [Saelee et al. \(2016\)](#) informaron de un aumento del índice de cristalinidad del 59,5% para el material de partida al 68,1 % para el NFC producido.

Además del enfoque comúnmente adoptado de producir nanocelulosas en un proceso independiente, también se ha propuesto la producción de nanocelulosas dentro del concepto de biorrefinería. Los estudios han demostrado que alcanzar una conversión de celulosa cercana al 100 % para la producción de azúcares monoméricos no se considera una estrategia viable para producir etanol 2G ([Arantes y Saddler, 2011](#); [Horn et al., 2012](#)). Sin embargo, alcanzar valores de conversión de celulosa cercanos al 70 % hace más atractivo el proceso, que sigue generando una concentración viable de azúcares monoméricos ([Modenbach y Nokes, 2013](#)). En consecuencia, también se obtiene un residuo altamente recalcitrante rico en celulosa cristalina ([Camargo et al., 2016](#), [Oksman et al., 2011](#); [Tsukamoto et al., 2013](#); [Zhu et al., 2011](#)). Este residuo puede utilizarse para producir nanocelulosas como coproducto de alto valor añadido, mejorando la viabilidad económica de la producción de etanol 2G ([Duran et al., 2011](#); [Leistriz et al., 2006](#)). Esto parece ser una nueva estrategia para la implantación o adecuación de plantas de etanol y biomateriales de segunda generación a gran escala ([Camargo et al., 2016](#)). De hecho, la producción integrada de nanocelulosa con la producción de azúcar para etanol 2G ha sido investigada en algunos estudios recientes ([Camargo et al. 2016](#); [Chirat et al., 2010](#); [Oksman et al., 2011](#); [Song et al., 2014](#); [Tsukamoto et al., 2013](#); [Zhu et al., 2011](#)). En el estudio más reciente ([Camargo et al., 2016](#)), se utilizó bagazo de caña de azúcar como materia prima para la producción integrada de azúcares monoméricos y nanocelulosa.

CUADRO 9.3 Métodos de producción y propiedades de nanocelulosas a partir de bagazo de caña de azúcar

NC	Método	Diámetro (nm)	Longitud (nm)	ICr (%)	Referencias
NCC	HA	9,8 ± 6,3	280,1 ± 73,3	68,54 ± 1,3	Lam et al. (2017)
	HE	14,0-18,0	193-246	77,7-81,7	Camargo et al. (2016)
	HA	4,1-7,0	89-117	77-86	Oliveira et al. (2016)
	Molienda/HE	4-12	1000-5000	63,95-61,59	Teixeira et al. (2015)
	HA	20-60	250-480	72,5	Kumar et al. (2014)
	HA	10,11 ± 3,36	247,51 ± 32,34		Slavutsky y Bertuzzi (2014)
	HA	35	170		Mandal y Chakrabarty (2011)
	HA	4 ± 2	255 ± 55	70,5-87,5	Teixeira et al. (2011)
NFC	HG	5-10	264 ± 69	68,10 ± 0,18	Saelee et al. (2016)
	HG	15 ± 8		40,0	Zhang et al. (2016)
	HG	60-100	3000-4000		Bansal et al. (2016)
	HIUS	31-33			Santucci et al. (2016)
	Molienda	4-35	500-1500	59,6	Teixeira et al. (2015)
	HIUS	≈ 40			Campos et al. (2013)
	HG	10-20		36	2005; Li et al. (2012)
	HG/HA	30			Bhattacharya et al. (2008)

HA: hidrólisis ácida; ICr: índice de cristalinidad; HE: hidrólisis enzimática; HG: homogenización; HIUS: ultrasonificación de alta intensidad.

9.4.1 *Propiedades de las nanocelulosas del bagazo de caña de azúcar*

Las propiedades mecánicas de las nanocelulosas son parámetros importantes para definir sus aplicaciones. Estas propiedades dependen no sólo de la fuente del material celulósico, sino también de la morfología, las dimensiones y el grado de cristalinidad de las nanopartículas, que a su vez dependen del método de producción utilizado para obtener la nanocelulosa (Rebouillat y Pla, 2013). Además, se ha sugerido que las dimensiones de las partículas de celulosa con alta relación de aspecto (longitud/anchura) tienen un módulo de Young superior, que oscila entre 129 GPa y 250 GPa (Lin y Dufresne, 2014; Moon *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2015). La biocompatibilidad (capacidad del material implantado para no causar cambios perjudiciales) es una propiedad que depende del modo de aislamiento de la nanocelulosa, y hace que la nanocelulosa sea muy aplicable en el sector biomédico, como en formulaciones con agentes antibacterianos en apósitos, implantes, piel artificial para quemaduras, administración de fármacos, soporte para la inmovilización de enzimas y cosméticos (Lin y Dufresne, 2014; Rebouillat y Pla, 2013).

Para medir el tamaño de las nanocelulosas y determinar su morfología, se utilizan técnicas de microscopía como la microscopía electrónica de barrido (SEM), la microscopía electrónica de transmisión (TEM) y la microscopía de fuerza atómica (AFM). Sin embargo, se ha informado de que las técnicas de AFM (Kvien *et al.*, 2005) y SEM (Chinga-Carrasco *et al.*, 2011; Fukuzumi *et al.*, 2009) sobreestiman las dimensiones reales de las partículas, debido a los efectos de ensanchamiento de la punta y al recubrimiento metálico de las nanopartículas antes del examen, respectivamente. La TEM ha sido la técnica de microscopía ampliamente recomendada para monitorizar con precisión la morfología y las dimensiones de las nanopartículas de celulosa (Brinchi *et al.*, 2013; Habibi *et al.*, 2010).

En general, se ha demostrado que los NCC producidos a partir del bagazo de caña de azúcar tienen un diámetro y una longitud dentro del rango de 4-60 nm y 89-280 nm, respectivamente (Cuadro 9.3). A efectos comparativos, el diámetro y la longitud típicos de los NCC producidos a partir de pulpa celulósica de madera blanda y madera dura, la celulosa más utilizada para la producción de nanocelulosa, es de unos 4-5 nm y 100-150 nm, respectivamente, para el método de hidrólisis ácida (Beck-Candanedo *et al.*, 2005), y de 4-80 nm y 70 nm-1,8 μ m, respectivamente, para el método de hidrólisis enzimática (Filson *et al.*, 2009; Siqueira y Arantes, 2017). En comparación con los NCC de pulpa de madera, los NCC de caña de azúcar parecen tener partículas de mayor diámetro y menor longitud.

El índice de cristalinidad, comúnmente medido por difracción de rayos X y analizado por el método de Segal *et al.* (1959), es otro parámetro importante de las nanocelulosas, e indica el nivel de organización del material. Para los NCC de caña de azúcar, se ha informado que el índice de cristalinidad varía de 68,5 % a 87,5 % (Camargo *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2014; Lam *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2011). Aunque el índice de cristalinidad para la NFC a partir del bagazo sólo se ha informado en unos pocos estudios (Cuadro 9.3), no existe un consenso general sobre lo que ocurre con el índice de cristalinidad durante el procesamiento de la celulosa para la producción de NFC. Recientemente, se demostró que hay informes en la bibliografía que indican un aumento del ICr después del procesamiento, mientras que otros han observado una disminución, e incluso el mantenimiento de la cristalinidad del material de partida (Siqueira y Arantes, 2017). Estas observaciones, a veces contradictorias, sobre la cristalinidad de la NFC se debieron probablemente a las diferencias en los procesos de producción. Agoda-Tandajawa *et al.* (2010) e Iwamoto *et al.* (2007) produjeron NFC por homogenización y molienda, respectivamente, y observaron una disminución del índice de cristalinidad. Por otra parte, Cheng *et al.* (2007) y Abe y Yano (2009) observaron un aumento del índice de cristalinidad de la NFC

que produjeron utilizando sonicación de alta intensidad y molienda, respectivamente.

9.5 CONCLUSIÓN

El bagazo de caña de azúcar parece ser una fuente adecuada de celulosa para la producción de nanocelulosas. Mientras que el método más empleado para obtener una pulpa rica en celulosa a partir del bagazo de la caña de azúcar ha sido una combinación de hidróxido de sodio seguida de deslignificación con peróxido de hidrógeno en medio alcalino, en un proceso independiente, un enfoque más atractivo parece ser la producción de nanocelulosa dentro del concepto de biorrefinería, junto con la producción de etanol celulósico. Las nanocelulosas producidas a partir del bagazo de caña de azúcar parecen presentar sólo pequeñas diferencias en sus características (diámetro, longitud y cristalinidad) en comparación con las nanocelulosas producidas a partir de la pulpa de madera. Por lo tanto, es un residuo agroindustrial abundante con un enorme potencial como recurso para la producción de nanocelulosas, como productos renovables, biodegradables y de alto valor añadido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, subvención n.º 2015/02862-5) y al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil (CNPq, subvenciones n.º 308715/2015-2 y 429895/2016-0) por el apoyo financiero para la investigación sobre la producción de nanocelulosas a partir de bagazo de caña de azúcar.

REFERENCIAS

- Abe, K., Yano, H., 2009. Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose* 16 (6), 1017—1023.
- Agbor, V.B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., Levin, D.B., 2011. Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnol. Adv.* 29 (6), 675—685.
- Agoda-Tandjawa, G., Durand, S., Berot, S., Blassel, C., Gaillard, C., Garnier, C., et al., 2010. Rheological characterization of microfibrillated cellulose suspensions after freezing. *Carbohydr. Polym.* 80 (3), 677—686.
- Alvira, P., Toma's-Pejo', E., Ballesteros, M.J., Negro, M.J., 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: a review. *Bioresour. Technol.* 101 (13), 4851—4861.
- Anderson, S.R., Esposito, D., Gillette, W., Zhu, J.Y., Baxa, U., Mcneil, S.E., 2014. Enzymatic preparation of nanocrystalline and microcrystalline cellulose. *TAPPI J.* 13 (5), 35—42.
- Arantes, V., Saddler, J.N., 2011. Cellulose accessibility limits the effectiveness of minimum cellulase loading on the efficient hydrolysis of pretreated lignocellulosic substrates. *Biotechnol. Biofuels* 4 (1), 1—16.
- Bansal, M., Chauhan, G.S., Kaushik, A., Sharma, A., 2016. Extraction and functionalization of bagasse cellulose nanofibres to Schiff-base based antimicrobial membranes. *Int. J. Biol. Macromol.* 91, 887—894.
- Beck-Candanedo, S., Roman, M., Gray, D.G., 2005. Effect of reaction conditions on the properties and behavior of wood cellulose nanocrystal suspensions. *Biomacromolecules* 6 (2), 1048—1054.
- Bezerra, T.L., Ragauskas, A.J., 2016. A review of sugarcane bagasse for second-generation bioethanol and biopower production. *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* 10, 634—647.
- Bhattacharya, D., Germinario, L.T., Winter, W.T., 2008. Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibers obtained from bagasse. *Carbohydr. Polym.* 73 (3), 371—377.
- Bondeson, D., Mathew, A., Oksman, K., 2006. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose* 13 (2), 171—180.
- Brinchi, L., Cotana, F., Fortunati, E., Kenny, J.M., 2013. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: technology and applications. *Carbohydr. Polym.* 94 (1), 154—169.
- Camargo, L.A., Pereira, S.C., Correa, A.C., Farinas, C.S., Marconcini, J.M., Mattoso, L.H.C., 2016. Feasibility of manufacturing cellulose nanocrystals from the solid residues of second-generation ethanol production from sugarcane bagasse. *Bioenergy Res.* 9 (3), 894—906.
- Campos, A., Correa, A.C., Cannella, D., de M Teixeira, E., Marconcini, J.M., Dufresne, A., et al., 2013. Obtaining nanofibers from curauá and sugarcane bagasse fibers using enzymatic hydrolysis followed by sonication. *Cellulose* 20 (3), 1491—1500.
- Chen, L., Wang, Q., Hirth, K., Baez, C., Agarwal, U.P., Zhu, J.Y., 2015. Tailoring the yield and characteristics of wood cellulose nanocrystals (CNC) using concentrated acid hydrolysis. *Cellulose* 22 (3), 1753—1762.
- Cheng, Q., Wang, S., Rials, T.G., Lee, S.H., 2007. Physical and mechanical properties of polyvinyl alcohol and polypropylene composite materials reinforced with fibril aggregates isolated from regenerated cellulose fibers. *Cellulose* 14 (6), 593—602.

[Cheng, Q., Wang, S., Han, Q., 2009. Novel process for isolating fibrils from cellulose fibers by high-intensity ultrasonication. II. Fibril characterization. J. Appl. Polym. Sci. 115 \(5\), 2756—2762.](#)

[Chinga-Carrasco, G., Yu, Y., Diserud, O., 2011. Quantitative electron microscopy of cellulose nanofibril structures from eucalyptus and pinus radiata kraft pulp fibers. Microsc. Microanal. 17 \(4\), 563—571.](#)

[Chirat, C., Lachenal, D., Dufresne, A., 2010. Biorefinery in a kraft pulp mill: from bioethanol to cellulose nanocrystals. Cellul. Chem. Technol. 44 \(1\), 59.](#)

[Cosgrove, D.J., 2014. Re-constructing our models of cellulose and primary cell wall assembly. Curr. Opin. Plant Biol. 22, 122—131.](#)

[Delmer, D.P., Amor, Y., 1995. Cellulose biosynthesis. Plant Cell 7 \(7\), 987—1000.](#)

[Dufresne, A., 2012. Nanocellulose: From Nature to High Performance Tailored Materials. Walter de Gruyter, Berlin and Boston, MA.](#)

[Duran, N., Lemes, A.P., Duran, M., Freer, J., Baeza, J., 2011. A minireview of cellulose nanocrystals and its potential integration as co-product in bioethanol production. J. Chil. Chem. Soc. 56 \(2\), 672—677.](#)

[Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. \(Eds.\), 2009. Wood Chemistry and Biotechnology, vol. 1. Walter de Gruyter, Berlin.](#)

[Fengel, D., Wegener, G. \(Eds.\), 1983. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter, Berlin.](#)

[Fernandes, A.N., Thomas, L.H., Altaner, C.M., Callow, P., Forsyth, V.T., Apperley, D.C., et al., 2011. Nanostructure of cellulose microfibrils in spruce wood. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 108 \(47\), E1195—E1203.](#)

[Field, C.B., Campbell, J.E., Lobell, D.B., 2008. Biomass energy: the scale of the potential resource. Trends Ecol. Evol. 23 \(2\), 65—72.](#)

[Filson, P.B., Dawson-Andoh, B.E., Schwegler-Berry, D., 2009. Enzymatic-mediated production of cellulose nanocrystals from recycled pulp. Green Chem. 11 \(11\), 1808—1814.](#)

[Fukuzumi, H., Saito, T., Iwata, T., Kumamoto, Y., Isogai, A., 2009. Transparent and high gas barrier films of cellulose nanofibers prepared by TEMPO-mediated oxidation. Biomacromolecules 10 \(1\), 162—165.](#)

[Ha, M.A., Apperley, D.C., Evans, B.W., Huxham, I.M., Jardine, W.G., Victor, R.J., et al., 1998. Fine structure in cellulose microfibrils: NMR evidence from onion and quince. Plant J. 16 \(2\), 183—190.](#)

[Habibi, Y., Lucia, L.A., 2012. Nanocelluloses: emerging building blocks for renewable materials, Polysaccharide Building Blocks: A Sustainable Approach to the Development of Renewable Biomaterials, first ed. Wiley, Hoboken, NJ, pp. 105—125.](#)

[Habibi, Y., Lucia, L.A., Rojas, O.J., 2010. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications. Chem. Rev. 110 \(6\), 3479—3500.](#)

[Hallac, B.B., Ragauskas, A.J., 2011. Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol. Biofuels, Bioprod. Biorefin. 5 \(2\), 215—225.](#)

[Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G., 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 100 \(1\), 10—18.](#)

- [Henriksson, M., Henriksson, G., Berglund, L.A., Lindstrom, T., 2007. An environmentally friendly method for enzyme-assisted preparation of microfibrillated cellulose \(MFC\) nanofibers. *Eur. Polym. J.* 43 \(8\), 3434—3441.](#)
- [Horn, S.J., Vaaje-Kolstad, G., Westereng, B., Eijsink, V., 2012. Novel enzymes for the degradation of cellulose. *Biotechnol. Biofuels* 5 \(1\), 45—57.](#)
- [Hu, F., Ragauskas, A., 2012. Pretreatment and lignocellulosic chemistry. *Bioenergy Res.* 5 \(4\), 1043—1066.](#)
- [Hubbell, C.A., Ragauskas, A.J., 2010. Effect of acid-chlorite delignification on cellulose degree of polymerization. *Bioresour. Technol.* 101 \(19\), 7410—7415.](#)
- [Hurter, R.W., 2001. Nonwood plant fiber characteristics. *Agric. Residues* 1—4.](#)
- [Iwamoto, S., Nakagaito, A.N., Yano, H., 2007. Nano-fibrillation of pulp fibers for the processing of transparent nanocomposites. *Appl. Phys. A* 89 \(2\), 461—466.](#)
- [Jonoobi, M., Oladi, R., Davoudpour, Y., Oksman, K., Dufresne, A., Hamzeh, Y., et al., 2015. Different preparation methods and properties of nanostructured cellulose from various natural resources and residues: a review. *Cellulose* 22 \(2\), 935—969.](#)
- [Kaar, W.E., Gutierrez, C.V., Kinoshita, C.M., 1998. Steam explosion of sugarcane bagasse as a pretreatment for conversion to ethanol. *Biomass Bioenergy* 14 \(3\), 277—287.](#)
- [Khalil, H.P.S.A., Davoudpour, Y., Islam, M.N., Mustapha, A., Sudesh, K., Dungani, R., et al., 2014. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review. *Carbohydr. Polym.* 99, 649—665.](#)
- [Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P., Bohn, A., 2005. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angew. Chem. Int. Ed.* 44 \(22\), 3358—3393.](#)
- [Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., Stroeve, P., 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48 \(8\), 3713—3729.](#)
- [Kumar, A., Negi, Y.S., Choudhary, V., Bhardwaj, N.K., 2014. Characterization of cellulose nanocrystals produced by acid-hydrolysis from sugarcane bagasse as agro-waste. *J. Mater. Phys. Chem.* 2 \(1\), 1—8.](#)
- [Kvien, I., Tanem, B.S., Oksman, K., 2005. Characterization of cellulose whiskers and their nanocomposites by atomic force and electron microscopy. *Biomacromolecules* 6 \(6\), 3160—3165.](#)
- [Lam, N.T., Chollakup, R., Smitthipong, W., Nimchua, T., Sukyai, P., 2017. Characterization of cellulose nanocrystals extracted from sugarcane bagasse for potential biomedical materials. *Sugar Tech* 1—14.](#)
- [Leistriz, F.L., Senechal, D.M., Stowers, M.D., McDonald, W.F., Saffron, C.M., Hodur, N.M., 2006. Preliminary feasibility analysis for an integrated biomaterials and ethanol biorefinery using wheat straw feedstock. In: *Agribusiness & Applied Economics Report-Department of Agribusiness and Applied Economics, North Dakota State University, Report no. 590.*](#)
- [Li, J., Henriksson, G., Gellerstedt, G., 2007. Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion. *Bioresour. Technol.* 98 \(16\), 3061—3068.](#)
- [Li, J., Wei, X., Wang, Q., Chen, J., Chang, G., Kong, L., et al., 2012. Homogeneous isolation of nanocellulose from sugarcane bagasse by high pressure homogenization. *Carbohydr. Polym.* 90 \(4\), 1609—1613.](#)
- [Lin, N., Dufresne, A., 2014. Nanocellulose in biomedicine: current status and future prospect.](#)

[Eur. Polym. J. 59, 302—325.](#)

[Mandal, A., Chakrabarty, D., 2011. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse \(SCB\) and its characterization. Carbohydr. Polym. 86 \(3\), 1291—1299.](#)

[Modenbach, A.A., Nokes, S.E., 2013. Enzymatic hydrolysis of biomass at high-solids loadings—a review. Biomass Bioenergy 56, 526—544.](#)

[Moon, R.J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., Youngblood, J., 2011. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. Chem. Soc. Rev. 40 \(7\), 3941—3994.](#)

[Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M., et al., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 96 \(6\), 673—686.](#)

[Newman, R.H., Hemmingson, J.A., 1990. Determination of the degree of cellulose crystallinity in wood by carbon-13 nuclear magnetic resonance spectroscopy. Holzforschung 44 \(5\), 351—356.](#)

[Oksman, K., Etang, J.A., Mathew, A.P., Jonoobi, M., 2011. Cellulose nanowhiskers separated from a bio-residue from wood bioethanol production. Biomass Bioenergy 35 \(1\), 146—152.](#)

[Oliveira, F.B., Bras, J., Pimenta, M.T.B., da Silva Curvelo, A.A., Belgacem, M.N., 2016. Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse fibers and pith. Ind. Crops Prod. 93, 48—57.](#)

[Paakko, M., Ankerfors, M., Kosonen, H., Nykanen, A., Ahola, S., Osterberg, M., et al., 2007.](#)

[Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. Biomacromolecules 8 \(6\), 1934—1941.](#)

[Rebouillat, S., Pla, F., 2013. State of the art manufacturing and engineering of nanocellulose: a review of available data and industrial applications. J. Biomater. Nanobiotechnol. 4 \(02\), 165—188.](#)

[Rocha, G.J.M., Nascimento, V.M., Goncalves, A.R., Silva, V.F.N., Mart'ın, C., 2015. Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical—composition. Ind. Crops Prod. 64, 52—58.](#)

[Saelee, K., Yingkamhaeng, N., Nimchua, T., Sukyai, P., 2016. An environmentally friendly xylanase-assisted pretreatment for cellulose nanofibrils isolation from sugarcane bagasse by high-pressure homogenization. Ind. Crops Prod. 82, 149—160.](#)

[Saito, T., Hirota, M., Tamura, N., Kimura, S., Fukuzumi, H., Heux, L., et al., 2009. Individualization of nano-sized plant cellulose fibrils by direct surface carboxylation using TEMPO catalyst under neutral conditions. Biomacromolecules 10 \(7\), 1992—1996.](#)

[Santucci, B.S., Bras, J., Belgacem, M.N., da Silva Curvelo, A.A., Pimenta, M.T.B., 2016. Evaluation of the effects of chemical composition and refining treatments on the properties of nanofibrillated cellulose films from sugarcane bagasse. Ind. Crops Prod. 91, 238—248.](#)

[Segal, L.G.J.M.A., Creely, J.J., Martin Jr, A.E., Conrad, C.M., 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. Text. Res. J. 29 \(10\), 786—794.](#)

[Shatkin, J.A., Wegner, T.H., Bilek, E.T., Cowie, J., 2014. Market projections of cellulose nanomaterial-enabled products-Part 1: applications. TAPPI J. 13 \(5\), 9—16.](#)

[Siqueira, G., Arantes, V., 2017. Nanocellulose from lignocellulosic biomass, Valorization of Lignocellulosic Biomass in Biorefinery: From Logistics to Environmental and Performance Impact., first ed. Nova Publishers, New York, pp. 293—320.](#)

- [Siro', I., Plackett, D., 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 17 \(3\), 459—494.](#)
- [Sixta, H. \(Ed.\), 2006. Handbook of Pulp, vol. 1. Wiley-VCH, Weinheim, pp. 343—345.](#)
- [Sjostrom, E., 1993. Wood Chemistry Fundamentals and Applications. Academic Press, New York.](#)
- [Slavutsky, A.M., Bertuzzi, M.A., 2014. Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse. *Carbohydr. Polym.* 110, 53—61.](#)
- [Song, Q., Winter, W.T., Bujanovic, B.M., Amidon, T.E., 2014. Nanofibrillated cellulose \(NFC\): a high-value co-product that improves the economics of cellulosic ethanol production. *Energies* 7 \(2\), 607—618.](#)
- [Taherzadeh, M.J., Karimi, K., 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *Int. J. Mol. Sci.* 9 \(9\), 1621—1651.](#)
- [Teixeira, E.M., Bondancia, T.J., Teodoro, K.B.R., Correa, A.C., Marconcini, J.M., Mattoso, L.H.C., 2011. Sugarcane bagasse whiskers: extraction and characterizations. *Ind. Crops Prod.* 33 \(1\), 63—66.](#)
- [Teixeira, R.S.S., da Silva, A.S.A., Jang, J.H., Kim, H.W., Ishikawa, K., Endo, T., et al., 2015. Combining biomass wet disk milling and endoglucanase/ \$\beta\$ -glucosidase hydrolysis for the production of cellulose nanocrystals. *Carbohydr. Polym.* 128, 75—81.](#)
- [Thomas, L.H., Forsyth, V.T., S̆turcova', A., Kennedy, C.J., May, R.P., Altaner, C.M., et al., 2013. Structure of cellulose microfibrils in primary cell walls from collenchyma. *Plant Physiol.* 161 \(1\), 465—476.](#)
- [Tsukamoto, J., Duran, N., Tasic, L., 2013. Nanocellulose and bioethanol production from orange waste using isolated microorganisms. *J. Braz. Chem. Soc.* 24 \(9\), 1537—1543.](#)
- [Wang, S., Cheng, Q., 2009. A novel process to isolate fibrils from cellulose fibers by high intensity ultrasonication, Part 1: Process optimization. *J. Appl. Polym. Sci.* 113 \(2\), 1270—1275.](#)
- [Wang, Q.Q., Zhu, J.Y., Gleisner, R., Kuster, T.A., Baxa, U., McNeil, S.E., 2012. Morphological development of cellulose fibrils of a bleached eucalyptus pulp by mechanical fibrillation. *Cellulose* 19 \(5\), 1631—1643.](#)
- [Wang, W., Mozuch, M.D., Sabo, R.C., Kersten, P., Zhu, J.Y., Jin, Y., 2015. Production of cellulose nanofibrils from bleached eucalyptus fibers by hyperthermostable endoglucanase treatment and subsequent microfluidization. *Cellulose* 22 \(1\), 351—361.](#)
- [Young, R.A., 1994. Comparison of the properties of chemical cellulose pulps. *Cellulose* 1 \(2\), 107—130.](#)
- [Zhang, K., Sun, P., Liu, H., Shang, S., Song, J., Wang, D., 2016. Extraction and comparison of carboxylated cellulose nanocrystals from bleached sugarcane bagasse pulp using two different oxidation methods. *Carbohydr. Polym.* 138, 237—243.](#)
- [Zhao, H.P., Feng, X.Q., Gao, H., 2007. Ultrasonic technique for extracting nanofibers from nature materials. *Appl. Phys. Lett.* 90 \(7\), 073112.](#)
- [Zhu, J.Y., Pan, X.J., 2010. Woody biomass pretreatment for cellulosic ethanol production: technology and energy consumption evaluation. *Bioresour. Technol.* 101 \(13\), 4992—5002.](#)
- [Zhu, J.Y., Sabo, R., Luo, X., 2011. Integrated production of nano-fibrillated cellulose and cellulosic biofuel \(ethanol\) by enzymatic fractionation of wood fibers. *Green Chem.* 13 \(5\), 1339—1344.](#)

Contenido

Lista de colaboradores	xv
Biografía	xvii
Prólogo	xix
Prefacio	xxi

1. Cultivo de la caña de azúcar: cartografía del suelo, efectos medioambientales y nuevas variedades de caña de azúcar 1

Jorge L. Donzelli, Fernando C. Bertolani y Natalia de Campos Trombeta

1.1	Introducción	1
1.2	Cartografía del suelo y entorno de cultivo de la caña de azúcar	2
1.3	Grupos de suelos para la gestión agrícola: base para la aplicación de tecnologías agrónomas	5
1.4	Avances tecnológicos para mejorar las nuevas variedades de caña de azúcar	9
	1.4.1 Programa Brasileño de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar: características históricas	9
	1.4.2 Principales características de los programas de mejora genética de la caña de azúcar	10
	1.4.3 Censo de variedades de caña de azúcar e intención de siembra-temporada 2016/17	11
1.5	Conclusión	13
	Referencias	13
	Lecturas complementarias	15

2. El residuo de la caña de azúcar como materia prima para biorrefinerías: cuestiones agrícolas y logísticas 17

Marcelo A. Pierossi y Fernando C. Bertolani

2.1	Introducción	17
2.2	Cadena de suministro de la biomasa	20
2.3	Cuestiones agrónomas y de sostenibilidad	23
2.4	Sistema de empacado	24
	2.4.1 Logística agrícola	25
	2.4.2 Procesado de pacas	28
2.5	Cosecha integral	30
	2.5.1 Logística agrícola	32

2.5.2	Transformación industrial	32
2.6	Dimensiones críticas de la biomasa	33
2.6.1	Garantía de suministro	33
2.6.2	Operaciones agrícolas	34
2.6.3	Procesamiento en fábrica	35
2.6.4	Calidad de la biomasa	35
2.6.5	Almacenamiento	35
2.6.6	Inversión	36
2.7	Conclusión	37
	Referencias	37
3.	El uso de herramientas de biología sintética en las biorrefinerías para aumentar la diversificación de los componentes básicos	41
<i>André T.V. Hermann, Aline L. Gonçalves, Josman Velasco, Bianca Oliva, Awana da Silva Lima, Bruno A. França, Gislene Ferreira, Evandro J. Mulinari, Carlaile F. de Oliveira Nogueira y Fernando Segato</i>		
3.1	Introducción	41
3.2	Concepto de biorrefinerías	42
3.2.1	Valorización de la biomasa: un proceso clave en la biorrefinería	42
3.2.2	Biorrefinería: aspectos y tecnologías	43
3.2.3	Biología sintética: nuevas fronteras para las biorrefinerías de lignocelulosa	44
3.3	La caña de azúcar como materia prima biológica en biorrefinerías	45
3.4	Concepto básico de biología sintética y su aplicación	46
3.5	Herramientas utilizadas en biología sintética para permitir nuevas rutas metabólicas	49
3.5.1	Métodos basados en endonucleasas de restricción de tipo IIS	51
3.6	Clonación por recombinación asociada a la transformación	54
3.7	Bastidores preferidos y posibles utilizados en biología sintética	55
3.7.1	Bacterias	56
3.7.2	Levaduras	57
3.7.3	Hongos filamentosos	58
3.8	Posibilidades de la cartera de bloques de construcción	59
3.8.1	Fábricas de células	60
3.8.2	Bloques de construcción	60
3.8.3	Ácido succínico	60
3.8.4	Ácido láctico	62
3.8.5	Ácido Itacónico	62
3.8.6	Xilitol	62
3.8.7	Ácido adípico	63
3.8.8	Etanol	63

3.8.9	Ácido fumárico	63
3.8.10	Butanol	64
3.8.11	Putrescina	64
3.8.12	Cadaverina	64
3.8.13	Bloques de construcción de polímeros aromáticos	64
3.8.14	Productos químicos especiales	65
3.8.15	Biohidrocarburos	65
3.9	Conclusión y perspectivas	66
	Conflicto de intereses	66
	Agradecimientos	66
	Referencias	67
4.	Avances tecnológicos en la producción de etanol 1G y recuperación de subproductos basados en el concepto de biorrefinería	73
	<i>Jessica C. Bergmann, Debora Trichez, Lunalva P. Sallet, Flavia Cristina de Paula e Silva y Joao R.M. Almeida</i>	
4.1	Introducción	73
4.2	Técnicas de producción de etanol a partir de la caña de azúcar	75
4.2.1	Producción, cosecha y transporte de cultivos	76
4.2.2	Limpieza, molido y extracción de zumo	76
4.2.3	Producción de azúcar y melaza	77
4.2.4	Procesos fermentativos	77
4.3	Nuevas tecnologías para la producción de etanol 1G	79
4.3.1	Investigación sobre la levadura	79
4.3.2	Mejora de la caña de azúcar	82
4.3.3	Coproductos en la industria del bioetanol	84
4.4	Conclusiones	89
	Referencias	90
5.	Bioconversión de hemicelulosa en etanol y productos de valor añadido: comercialización, tendencias y oportunidades a futuro	97
	<i>Anuj K. Chandel, Felipe A.F. Antunes, Ruly Teran-Hilares, Junio Cota, Simo Ellila, Marcos H.L. Silveira, Julio C. dos Santos y Silvio S. da Silva</i>	
5.1	Introducción	97
5.2	Pretratamiento de biomasa, hidrólisis ácida diluida, desintoxicación	99
5.2.1	Hidrólisis enzimática de carbohidratos lignocelulósicos	101
5.3	Proceso de fermentación para obtener etanol y bioproductos de importancia comercial	106
5.3.1	Etanol	106
5.3.2	Producción de xilitol	108

5.3.3	Butanediol	109
5.3.4	Polihidroxialcanoatos y polihidroxibutirato	110
5.3.5	Ácidos orgánicos	111
5.4	Estrategias de fermentación para el aprovechamiento del azúcar C5 (procesos de fermentación por lote, lote alimentado, continuo)	112
5.5	Mejora del rendimiento de la fermentación de azúcares C5 a etanol 2G mediante ingeniería de cepas	114
5.6	Soluciones comerciales para la fermentación de la xilosa	118
5.6.1	Procesos que utilizan <i>S. cerevisiae</i>	118
5.6.2	Microorganismos o procesos alternativos	123
5.7	Conclusiones y recomendaciones para el futuro	124
	Agradecimientos	125
	Referencias	125
	Lecturas complementarias	133
6.	Producción de etanol de segunda generación: posibles materias primas de biomasa, deconstrucción de biomasa y plataformas químicas para la valorización de procesos	135
	<i>Marcos H.L. Silveira, Bruno A. Vanelli y Anuj K. Chandel</i>	
6.1	Introducción	135
6.2	Posible materia prima de la biomasa: base de biorrefinería	137
6.2.1	Deconstrucción de biomasa	138
6.2.2	Hidrólisis enzimática de sustratos lignocelulósicos pretratados	143
6.2.3	Rutas químicas prometedoras para las biorrefinerías de lignocelulosa	144
6.3	Conclusión	149
	Referencias	149
	Lecturas complementarias	152
7.	Vinaza de caña de azúcar, melazas, crema de levadura: aspectos agrícolas, medioambientales e industriales	153
	<i>Amol Sheth y Prasanna Borse</i>	
7.1	Introducción	153
7.2	Panorama del proceso de la industria del etanol en relación con la melaza, la levadura y la vinaza	154
7.2.1	Fermentación: procesos de fermentación por lote, lote alimentado y continuo	154
7.2.2	Destilación	156
7.2.3	Evaporación de la vinaza	157
7.3	Producción de melaza y caña de azúcar en la India (investigación industrial, ISMA, información secundaria)	158
7.4	Levadura: ingrediente crítico para una mayor eficacia (información de dominio	

	privado de Praj Industries Limited)	159
7.5	Sobre Praj Industries Ltd. Pune, India	160
7.6	Conclusiones	161
	Referencias	161
8.	Valorización de subproductos según el concepto de biorrefinería: aspectos comerciales de los subproductos de la biomasa lignocelulósica	163
	<i>Richa Arora, Niles K. Sharma y Sachin Kumar</i>	
8.1	Introducción	163
8.2	Subproductos de la biorrefinería de caña de azúcar	164
	8.2.1 Hemicelulosa	165
	8.2.2 Lignina	165
8.3	Valorización de subproductos y sus aspectos comerciales	165
	8.3.1 Hemicelulosa	165
	8.3.2 Lignina	170
8.4	Desafíos	172
8.5	Conclusiones	173
	Agradecimientos	173
	Abreviaturas	174
	Referencias	174
9.	Nanocelulosas a partir de biomasa de caña de azúcar	179
	<i>Barbara Pereira y Valdeir Arantes</i>	
9.1	Introducción	179
9.2	Celulosa de bagazo de caña de azúcar	180
	9.2.1 Métodos de extracción de celulosa del bagazo de caña de azúcar	181
9.3	Producción de nanocelulosas	184
	9.3.1 Producción de nanocristales de celulosa (NCC)	184
	9.3.2 Producción de nanofibrillas de celulosa (NFC)	186
9.4	Producción de nanocelulosas a partir de bagazo de caña de azúcar	188
	9.4.1 Propiedades de las nanocelulosas del bagazo de caña de azúcar	190
9.5	Conclusión	191
	Agradecimiento	191
	Referencias	192
10.	Análisis tecnoeconómico de la cogeneración de calor y electricidad y de la producción de etanol de segunda generación a partir de la caña de azúcar	197

Marina O.S. Dias, Danilo R. Lima y Adriano P. Mariano

10.1	Introducción	197
10.2	Instalaciones de caña de azúcar: configuraciones actuales y futuras	199
10.3	Cogeneración y producción de etanol de segunda generación	200
10.4	Métodos de análisis tecnoeconómico: simulaciones asistidas por software, principios de ingeniería económica	205
10.5	Factores que determinan el análisis tecnoeconómico de la producción combinada de calor y electricidad y etanol celulósico	208
10.6	Observaciones finales	210
	Referencias	210
11.	Evaluación del ciclo de vida de la biorrefinería de caña de azúcar: uso de la energía, evaluación medioambiental y otros indicadores de sostenibilidad	213
	<i>Mahdi Mazuchi</i>	
11.1	Introducción	213
11.2	Elementos básicos de la biorrefinería	214
	11.2.1 Importancia de la ubicación	216
11.3	Biocarburantes en el ámbito de la biorrefinería: perfil en varios países	217
	11.3.1 El caso de Brasil	217
	11.3.2 El caso de la India	218
	11.3.3 El caso de China	218
	11.3.4 El caso de Australia	219
	11.3.5 El caso de Tailandia	220
	11.3.6 El caso de Sudáfrica	221
11.4	Productos importantes en la línea de biorrefinería	221
	11.4.1 Bioetanol	221
	11.4.2 Biobutanol	222
	11.4.3 Biometanol	222
	11.4.4 Energía derivada de la biomasa	223
	11.4.5 Bioplásticos a partir de bioetanol	224
	11.4.6 Biogas	225
11.5	Evaluación tecnoeconómica y del ciclo de vida	226
	11.5.1 Metodología	227
	11.5.2 Tipo de ciclo	229
	11.5.3 Indicadores	230
	11.5.4 Interpretación	231
	11.5.5 Mapa estratégico de la huella	231
	11.5.6 Herramienta virtual de biorrefinería de caña de azúcar	232
11.6	Conclusión	233
	Referencias	233

12. Huella de carbono de la combustión de gasolina y etanol	241
<i>Rajiv Ganguly y Vijay Kumar Garlapati</i>	
12.1 Introducción	241
12.2 Emisiones de gases de efecto invernadero	241
12.3 Papel de las emisiones de gases de efecto invernadero en el cambio climático	243
12.4 La gasolina frente al bioetanol	243
12.5 Propiedades de los combustibles bajos en carbono	244
12.6 Ciclo de vida del combustible	245
12.7 Emisiones de los combustibles convencionales	247
12.8 Emisiones de los biocarburantes	247
12.9 Recomendaciones del IPCC para el control de las emisiones de gases de efecto invernadero	248
Referencias	250
Lecturas complementarias	252
13. Mercado mundial del etanol: tendencias de comercialización, normativa e factores clave	253
<i>Lilian Maluf de Lima y Mirian Rumenos Piedade Bacchi</i>	
13.1 Introducción	253
13.1.1 La importancia de los biocarburantes en el contexto mundial	253
13.2 Mercado mundial del etanol	254
13.2.1 Producción mundial de etanol	254
13.2.2 Consumo mundial de etanol, importaciones y exportaciones	257
13.3 La política de biocarburantes de Estados Unidos	259
13.3.1 Etanol avanzado	262
13.3.2 Legislación estadounidense para aumentar el uso de combustibles renovables	262
13.3.3 Números de identificación renovable (RINS) del etanol	265
13.4 Mandatos en vigor en los países del mundo: obligatorios	
Adición de biocarburantes a los combustibles fósiles	267
13.5 Regulación en Brasil: caso específico de la variación del porcentaje de etanol anhidro en la gasolina	269
13.5.1 Mercado interno del etanol brasileño	270
13.6 Consideraciones finales	275
Referencias	276
Lecturas complementarias	277

14. Evolución de las políticas públicas de desarrollo del sector sucroenergético en Brasil	279
<i>Carlos E.F. Vian, Luciano Rodrigues y Haroldo J.T. da Silva</i>	
14.1 Introducción	279
14.2 Surgimiento del etanol combustible en Brasil y las políticas de incentivo a la producción principal	279
14.3 Evolución de las políticas reguladoras del sector público en los años setenta y ochenta	286
14.4 Desregulación industrial en los años 90	290
14.5 Dinámica del sector sucroenergético en un entorno de libre mercado	295
14.5.1 Cambios en la estructura de comercialización de la caña de azúcar	295
14.5.2 El lanzamiento del vehículo de combustible flexible (FFV) o vehículo de doble combustible (en portugués, vehículo “Flex”) y el nuevo ciclo de expansión de la producción de caña de azúcar	297
14.5.3 La relación entre la industria del etanol y la política petrolera	300
14.6 Biocarburantes y políticas públicas	303
14.7 Consideraciones finales	304
Referencias	306
Lecturas complementarias	306
Índice	307

Avances en biorrefinería de caña de azúcar

Tecnologías, comercialización, cuestiones políticas y cambio de paradigma para el bioetanol y los subproductos

Editado por

Anuj Kumar Chandel

Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil
Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de Sao Paulo, Lorena, Sao Paulo, Brasil

Marcos Henrique Luciano Silveira

Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil
Fibria Cellulose S.A., Technological Center, Jacareí, Sao Paulo, Brazil




Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

Elsevier

Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Ámsterdam, Países Bajos

The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, Reino Unido

50 Hampshire Street, 5th Floor, Cambridge, MA 02139, Estados Unidos

Copyright © 2018 Elsevier Inc. Todos los derechos reservados.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta publicación, en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin la autorización por escrito del editor. En nuestro sitio web www.elsevier.com/permissions encontrará información detallada sobre cómo solicitar permisos, así como sobre las políticas de permisos de la editorial y nuestros acuerdos con organizaciones como el Copyright Clearance Center y la Copyright Licensing Agency.

Este libro y las contribuciones individuales que contiene están protegidos por derechos de autor de la editorial (salvo que se indique lo contrario).

Avisos

Los conocimientos y las mejores prácticas en este campo cambian constantemente. A medida que las nuevas investigaciones y la experiencia amplían nuestros conocimientos, puede ser necesario introducir cambios en los métodos de investigación, las prácticas profesionales o los tratamientos médicos.

Los profesionales e investigadores deben basarse siempre en su propia experiencia y conocimientos a la hora de evaluar y utilizar cualquier información, método, compuesto o experimento descrito en el presente documento. Al utilizar dicha información o métodos, deben tener presente su propia seguridad y la de los demás, incluidas las partes sobre las que tengan una responsabilidad profesional.

En la medida en que lo permita la ley, ni la editorial ni los autores, colaboradores o editores asumen responsabilidad alguna por lesiones o daños a personas o bienes por responsabilidad civil por productos defectuosos, negligencia u otros motivos, o por el uso o aplicación de métodos, productos, instrucciones o ideas contenidos en este material.

Datos de catalogación de la Biblioteca Británica

La Biblioteca Británica dispone de una ficha catalográfica de este libro

Datos de catalogación de la Biblioteca del Congreso

El registro del catálogo de este libro está disponible en la Biblioteca del Congreso bajo el ISBN: 978-0-12-804534-3

Para obtener información sobre todas las publicaciones de Elsevier visite nuestro sitio web <https://www.elsevier.com/books-and-journals>



Editorial: Joe Hayton

Editor de adquisiciones: Raquel Zanol

Director del proyecto editorial: Mariana Kuhl

Jefe de proyecto de producción: Anitha Sivaraj

Diseñador de la portada: Matthew Limbert

Composición tipográfica: MPS Limited, Chennai, India

Consulte las estadísticas de publicación


Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

COMPARATIVO DE MARCAS CARVAJAL PULPA Y PAPEL, SYLVAMO Y SUZANO POR USO / TIPO DE IMPRESIÓN						
	Tipo de Papel	BOND / OFFSET		PARA IMPRESIÓN DIGITAL		OFFSET NO BLANCO
	Color	Blanco		Blanco		Crema, Beige, Natural
	Tipo de Impresión	Impresión Offset y Flexográfica		Impresión Inkjet	Impresión Láser	Según Proveedor
CARVAJAL PULPA Y PAPEL	Marca	PropalBond	PropalOffset	PropalFormas (Láser)		Earth Pact Natural Offset Earth Pact Natural Formas Láser
	Usos	Cuadernos, agendas, blocs, libros, cartillas, informes, formularios, volantes	Libros (textos y editoriales), revistas, material promocional, catálogos	Formatos con impresión fija y variable como extractos, facturas, también libros, pruebas de conocimiento, material electoral, material promocional, revistas.		EP Nat Offset = PropalBond y PropalOffset IMPRESIÓN: Offset y Flexografica EP Nat Formas Láser = PropalFormas Laser IMPRESIÓN: Laser e Inkjet
	Fuente	https://www.propal.com.co/papel-para-artes-graficas				
SYLVAMO	Marca	Offset Chambril	Chambril Book	Chambril Digital	Chambril Laser	Chambril Avena
	Usos	Libros, Revistas, Cuadernos, agendas, blocs, folletos, calendarios, carteles, tabloides, informes anuales, correo directo, formularios continuos y sobres.		Impresos en general y datos variables en equipos a base de tinta inkjet pigmentada	Pre-impresos con posterior personalización láser e impresión láser en general.	Libros, informes y materiales impresos en general. IMPRESIÓN: Offset y Flexográfica
	Fuente	https://www.sylvamo.com/mx/es/nuestras-marcas/chambril https://www.portalchambril.com.br/produtos/				
SUZANO	Marca	Paperfect	Alta Alvura Alcalino	Alta Alvura Laser Laser Paperfect		Polen (Natural y Bold)
	Usos	Cuadernos, Agendas, Libros, prospectos, Embalaje ligero, Informes, Carpetas, Formularios, Catálogos,	Libros y contenido editorial, Cuadernos, Formularios, prospectos, Catálogos, Embalaje ligero, Materiales promocionales	Libros y contenido editorial, Formularios, Catálogos, Embalaje ligero, Materiales promocionales		Libros editoriales, cuadernos, agendas y libretas IMPRESIÓN: No especificada
	Fuente	https://www.suzano.com.br/produtos-e-marcas/papel/nao-revestidos				

Yo, Carlos Julio Carrero, el abajo firmante, Traductor Oficial Inglés – Español en y para la República de Colombia, según Certificado Profesional No. 0314 de fecha 14 de septiembre de 2010; por medio del presente CERTIFICO que me fue entregado un documento en idioma inglés, cuya traducción consta en las siguientes cuatro (4) páginas.

La traducción que sigue a continuación es una traducción fiel al idioma español del documento adjunto, la cual ha sido realizada a petición de la parte interesada. En fe de lo cual, estampo mi sello y firma a continuación en la ciudad de Bogotá en este día 4 de septiembre del 2025.

Carlos Julio Carrero

Traductor Oficial No. 0314



Carlos Julio Carrero
Traductor Oficial Inglés-Español
Resolución No. 0314
Septiembre 14, 2010

The Wayback Machine - <http://web.archive.org/web/20240811205821/https://www.mpm.co.jp/inkjet/english/inkjet...>



Inicio Mapa del Japonés

MPM INK-JET Official Web Site, mitsubishijet.com

Productos	Características de la inyección de tinta	Red mundial	Contáctenos	Enlace	Uso del sitio
Características de la inyección de tinta		mitsubishijet.com			
	Medios de inyección de tinta	Almacenamiento de impresiones por inyección de tinta	Impresoras de inyección de tinta	PREGUNTAS FRECUENTES	

Medios de inyección de tinta

Papel para inyección de tinta

Papel normal

Papel esmaltado

Papel

Papel satinado

Papel semisatinado

Papel mate

Papel fotográfico

Papel satinado

Papel semisatinado

Otros

Papel satinado

Papel mate

Los paquetes de papel para inyección de tinta disponibles en el mercado se venden bajo distintas descripciones de producto, como papel satinado, papel de calidad fotográfica, papel fotográfico, papel esmaltado, papel mate, papel normal, papel no esmaltado, etc. Esto se debe a que todos los fabricantes utilizan descripciones de categorías de productos diferentes. A continuación, encontrará una breve explicación de los papeles para inyección de tinta.

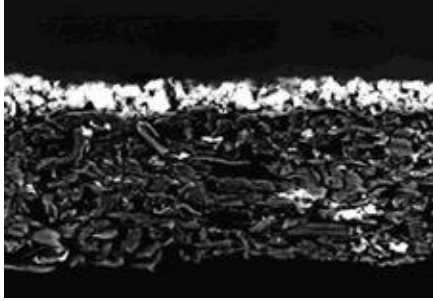
Los papeles para inyección de tinta pueden clasificarse como se muestra en la figura a continuación. También hay algunos productos que no son de papel. El material para la impresión por inyección de tinta en su conjunto, incluidos los medios distintos del papel, como la tela y la película, se denominan "medios de inyección de tinta".

- Papel normal y papel esmaltado

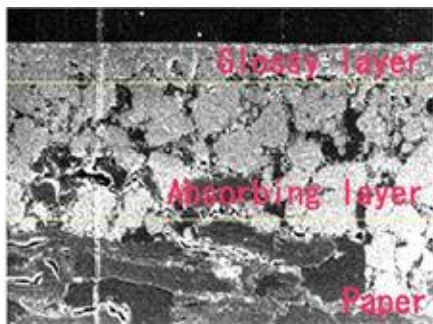
La clasificación se realiza en función de la existencia de una capa receptora de tinta para absorberla de una impresora de inyección de tinta. Los papeles sin capa receptora de tinta se denominan "papel normal" o "papel no esmaltado", y los que tienen una capa receptora de tinta se denominan "papel esmaltado". Los papeles esmaltados son muy superiores en calidad de imagen y color porque su capa receptora de tinta se desarrolla teniendo en cuenta el desarrollo del color y la fijación de la tinta. Los papeles esmaltados se clasifican en varios tipos, como satinados, no satinados, etc., en función de los distintos tipos de superficie. Todos los papeles normales tienen superficies no brillantes y son baratos. El papel normal es adecuado para la impresión de datos en color que consistan principalmente en texto. La impresión en medios distintos del papel, como películas, telas y láminas metálicas, es posible gracias a la formación de una capa receptora de tinta en la superficie del material.

- Papel esmaltado

Los papeles esmaltados están diseñados exclusivamente para su uso con impresoras de inyección de tinta para conseguir la mejor calidad de imagen. Los papeles de inyección de tinta de este tipo son los más populares del mercado. La siguiente imagen es una vista transversal de nuestro papel de inyección de tinta representativo.

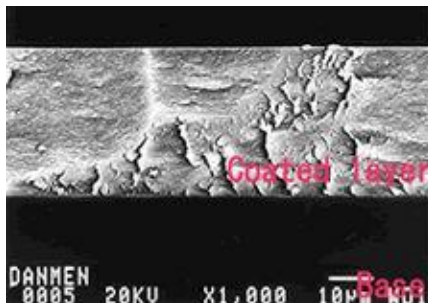
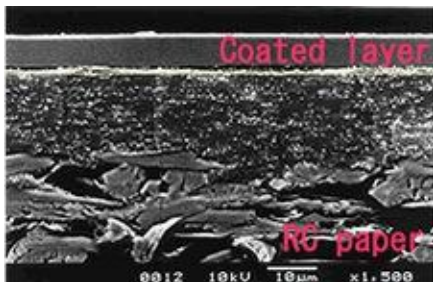


Los papeles esmaltados se clasifican en varios tipos, como “papel satinado”, “papel semisatinado” y “papel mate (no imágenes a todo color de alta definición y calidad. Los papeles satinados, que tienen la misma calidad que los papeles esmaltados, son muy brillantes. Los papeles semisatinados, que tienen la misma calidad que los papeles artísticos y los papeles esmaltados A2, son sólo ligeramente brillantes. En cuanto a los productos distintos del papel, los productos de película también se clasifican en satinado y mate. La imagen siguiente es una vista transversal de un papel satinado representativo.



- Papel de calidad fotográfica o papeles fotográficos

Entre los papeles disponibles en el mercado, los papeles fotográficos son los más caros. La “capa receptora de tinta” se forma en la superficie del papel de impresión fotográfica. Los papeles de inyección de tinta de este tipo tienen una calidad similar a la de las fotografías convencionales. dado que están desarrolladas para imprimir fotografías mediante inyección de tinta, se pueden obtener impresiones de la máxima calidad y definición. Se tiene muy en cuenta la estabilidad de almacenamiento de los materiales impresos. Los papeles de inyección de tinta de este tipo, incluidos los productos de película y tela, presentan diferencias de rendimiento en función del material del que estén hechas las capas receptoras de tinta, debido a diferencias en la absorción de la tinta.



>Haga clic aquí para ver los detalles de los “Principios de absorción de tinta”

- Materiales de la capa receptora de tinta

La capa receptora de tinta que se forma en los papeles esmaltados utiliza diversos materiales. Las capas receptoras de tinta de los papeles de calidad fotográfica o papeles fotográficos pueden clasificarse a grandes rasgos en dos grupos: las de “tipo polímero” y las de “tipo partícula”. Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes en cuanto a método de

producción, costo, calidad y rendimiento, y es difícil decir cuál es mejor.

Sin embargo, el mercado parece estar polarizándose en los dos bandos del “tipo polímero orientado a los costos” y el “tipo partícula orientado al rendimiento de calidad”. La imagen siguiente es una vista transversal de medios representativos de tipo polímero y de tipo partícula.

- Tipo polímero

Este tipo de capa receptora de tinta está formada por macromoléculas solubles en agua. Una macromolécula soluble en agua es un compuesto que tiene una molécula gigante soluble en agua. Entre las macromoléculas solubles en agua que suelen utilizarse para la capa receptora de tinta se encuentran la celulosa, la gelatina, el alcohol polivinílico, etc.

Las características de este tipo son las siguientes:

- 1) Fácil de producir
- 2) Tiene una superficie brillante
- 3) Tiene buena estabilidad de almacenamiento

Los problemas de este tipo son los siguientes:

- 1) Baja absorción de tinta
- 2) Requiere mucho tiempo de secado
- 3) Baja resistencia al agua

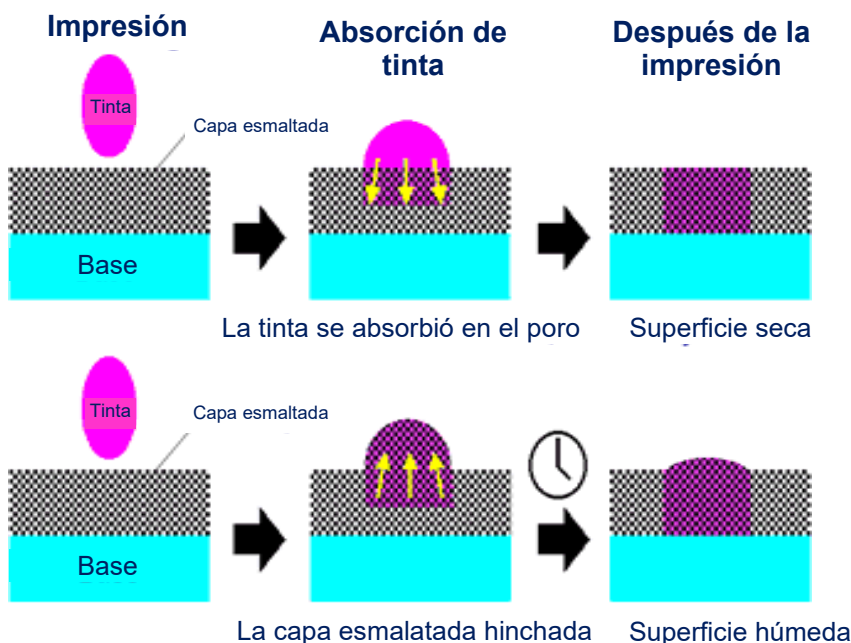
- Tipo partícula

Este tipo de capa receptora de tinta está formada por pequeñas partículas, apenas visibles o invisibles. También se denominan partículas coloidales. Las partículas utilizadas para la capa receptora de tinta son principalmente compuestos inorgánicos, como partículas de sílice y alúmina.

Las características de este tipo son las siguientes:

- 1) Produce imágenes de alta calidad
- 2) No requiere tiempo de secado
- 3) Resistencia al agua
- 4) Los problemas de este tipo son los siguientes:
 - 1) Difícil de producir
 - 2) Se daña fácilmente
 - 3) Decoloración de la superficie

- Principios de absorción de la tinta



Los principios de absorción de tinta del “tipo polímero” y del “tipo partícula” pueden explicarse con ejemplos familiares. El

principio de absorción del tipo polímero puede compararse con el “principio del pañal de papel”, y el del tipo partícula puede compararse con el “principio del agente secante de gel de sílice”. En el “principio del pañal de papel”, la humedad es absorbida por el hinchamiento del relleno. En el “principio del agente secante del gel de sílice”, la humedad se absorbe en los espacios finos del relleno.

1) La figura de la izquierda muestra el estado en el que una gota de tinta está a punto de tocar la superficie de las capas de tipo partícula y de tipo polímero. No hay diferencia entre ellos en este estado.

2) La figura del centro muestra el momento en que una gota de tinta alcanza la superficie del papel. Los dos tipos de papel son completamente diferentes en sus principios de absorción de tinta. La tinta se infiltra en los espacios entre las partículas de la capa de tipo partícula, mientras que la tinta es absorbida por los polímeros hinchables de la capa de tipo polímero.

3) La figura de la derecha muestra el estado de la superficie tras la impresión. La superficie del tipo partícula está seca porque la tinta se ha infiltrado en los espacios entre las partículas. Sin embargo, la superficie del tipo polimérico está húmeda porque la tinta se absorbe en la estructura de los polímeros hinchados. La tinta absorbida en polímeros casi nunca se seca por completo.

- ¿Cómo se distinguen los papeles con una capa de tipo polímero y una capa de tipo partícula entre los productos disponibles en el mercado?

Los papeles para inyección de tinta disponibles en el mercado no se clasifican en tipo polímero y tipo partícula por su capa receptora de tinta. Es difícil distinguirlos por su aspecto. Si el envase del producto dice “tecnología de partículas”, “microtecnología”, “sin tiempo de secado” o “secado rápido”, es posible que se trate de un envase de papeles para inyección de tinta con una capa receptora de tinta de tipo partícula. Al tocar la superficie de los papeles de inyección de tinta con una capa receptora de tinta de tipo polímero, puede notar cierta pegajosidad.

Copyright 2004-2017 MITSUBISHI PAPER MILLS LIMITED. Todos los derechos reservados.

RESOLUCIÓN NÚMERO 9093 DE 2012

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales

(Noviembre 27)

“Por la cual se expide una clasificación arancelaria”.

El Jefe de la Coordinación del Servicio de Arancel de la Subdirección de Gestión Técnica Aduanera,

en uso de las facultades legales que le confiere la Resolución 11 del 4 de noviembre de 2008, y

CONSIDERANDO:

Que el Gobierno Nacional, mediante el artículo 236 del Decreto 2685 de 1999, facultó a la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales para expedir clasificaciones arancelarias a solicitud de particulares.

Que mediante los artículos 154 y siguientes de la Resolución 4240 de 2000, y sus modificaciones, la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales reglamentó el trámite de las clasificaciones arancelarias a petición de particular y con la Resolución 3100 de 2010, reguló lo relacionado con el costo del servicio.

Que la empresa Gold Cargo SAS, identificado(a) con NIT 900.412.076-2, mediante formato radicado con el N° 64231 de agosto 9 de 2012, presentó solicitud para la clasificación arancelaria del producto denominado por el solicitante técnicamente como “papel para impresión inkjet sensibilizado para fotografía” y comercialmente como “Papel inkjet fotográfico”.

Que el solicitante canceló la suma de doscientos ochenta y tres mil pesos m/cte. (\$ 283.000), con el comprobante de pago de julio 31 de 2012 del Banco de Bogotá.

Que con Oficio 100227342-0768-057390 de septiembre 11 de 2012, se solicitó al interesado complementar la información suministrada, requerimiento que fue respondido con Radicado 2012ER87171 de noviembre 1° de 2012.

Que con la información y muestras (para revisión visual) suministradas por el interesado, se establece que el producto objeto de clasificación arancelaria corresponde a hojas de papel blanco, las que presentan por una de sus caras un recubrimiento.

Que el papel presenta las siguientes características físico-químicas:

— Hoja de papel blanco mate, pulpa química: 75 %.

— Materia de recubrimiento: 15 % - formada por resina de vinilo de acetato, adhesivo de alcohol polivinílico y dióxido de silicio, la función de este último, es la de servir de absorbente del recubrimiento, recogiendo la humedad rápidamente para asegurar que el colorante de la tinta no interfiera en el color.

— Ligantes: 4 %.

— Humedad: 6 %.

— Tamaño de las hojas: oficio (215,9 mm x 355,6 mm) y carta (215,9 mm x 279,4 mm).

— Peso: 105 g/m2.

Que por las características de rápida absorción y fijación de la tinta, el papel se utiliza en las impresoras inkjet o impresoras para fotografías, destinadas a la impresión de imágenes por medio de inyección de tinta, la cual se obtiene de unos cartuchos, el cabezal de impresión se mueve de un lado a otro, depositando sobre el papel minúsculas gotas de tinta con lo que se va formando la imagen.

Que aunque el papel objeto de clasificación arancelaria, presenta un recubrimiento que lo está haciendo apto para imprimir imágenes, este no le está confiriendo la característica de sensibilizado, ya que en su elaboración no presenta sustancias emulsificantes que lo hagan fotosensibles, característica indispensable arancelariamente para que un papel se considere sensibilizado.

Que de acuerdo con lo anterior, arancelariamente el producto corresponde a papel para imprimir, con recubrimiento por una de sus caras con sustancias inorgánicas, presentado en hojas.

RESUELVE:

ART. 1°—Clasificar la mercancía descrita en la presente resolución por la subpartida arancelaria 4810.14.90.00 del arancel de aduanas, como papel para imprimir recubierto con sustancias inorgánicas, presentado en hojas, y de acuerdo

con las reglas generales interpretativas 1 y 6 del mencionado texto arancelario.

ART. 2º—Notificar al(a) señor(a) Lina María García G., identificado(a) con cédula de ciudadanía 43.618.163 de Medellín, en la calle 40B sur N° 45F - 35 de Envigado - Antioquia, de conformidad con los artículos 563 y siguientes del Decreto 2685 de 1999, informándole que contra la presente resolución no procede recurso alguno en la vía gubernativa.

ART. 3º—Una vez en firme la presente providencia, por medio de la coordinación de documentación del despacho de la subdirección de gestión de recursos físicos, remítase copia o fotocopia a las direcciones seccionales de impuestos y aduanas o de aduanas del país, a la coordinación de relatoría de la subdirección de gestión normativa y doctrina y a la coordinación del servicio de arancel de la subdirección de gestión técnica aduanera, para lo de sus competencias.

ART. 4º—La presente resolución rige a partir de la fecha de su publicación, previa su notificación.

Publíquese, notifíquese, comuníquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D.C., a 27 de noviembre de 2012.

Se aportan como documentos confidenciales las facturas mediante las cuales Carvajal ha adquirido pulpa de eucalipto. Esta información corresponde a información confidencial de la empresa, que no es susceptible de resumen, al ser información específica y concreta de precios de compra de materia prima. En ese sentido, es información que goza de reserva y que en ningún momento puede trascender a ser conocida por los competidores, partes interesadas o público en general, conforme al artículo 61 del Código de Comercio, numeral 2 del artículo 39 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio – ADPIC, vinculante en Colombia por mandato de la Ley 170 de 1994, el artículo 260 de la decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina de Naciones y el numeral 6 del artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

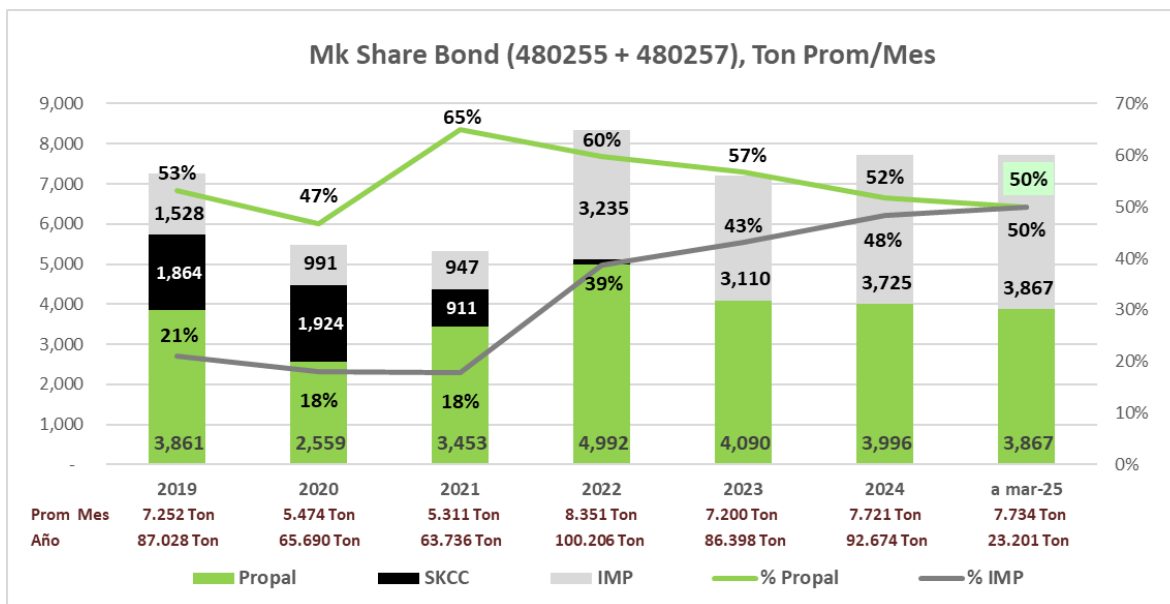
PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

PUBLICO

En el año 2022, Smurfit Kappa (en adelante “Smurfit”), productor de papel, dejó de abastecer al mercado en relación con el Papel Bond, al mismo tiempo en que las importaciones de Papel Bond proveniente de Brasil aumentaron desproporcionalmente. Con la salida de Smurfit (SKCC en gráfica) del mercado, Carvajal (Propal en gráfica) adoptó la posición de único fabricante de Papel Bond en el mercado, compitiendo únicamente con el papel importado de Brasil, según se expone en el anexo 8, mediante el cual se aporta una gráfica de consumo aparente:





RV: Comentarios adicionales de CADENA S.A en la etapa de práctica de pruebas - AD Papel Bond originario de Brasil

Desde Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>

Fecha Vie 12/09/2025 3:26 PM

Para Gilma Daniela Rodríguez Correa <grodriguez@mincit.gov.co>; Elkin Javier Cañavera Oñate <ecanavera@mincit.gov.co>; Yesid Calderón Castellanos -Cont <ycalderon@mincit.gov.co>; Maria Victoria Cardozo Maglioni -Cont <mcardozo@mincit.gov.co>; Sandra Milena Acosta Roa - Cont <sacosta@mincit.gov.co>

 3 archivos adjuntos (7 MB)

20250810 Documento Practica de Pruebas AD Papel Bond Cadena_Confidencial.pdf; 20250810 Documento Practica de Pruebas AD Papel Bond Cadena_Publico.pdf; Anexos Ver. Confidencial-Publica.zip;

De: Carlos Andres Camacho Nieto <ccamacho@mincit.gov.co>

Enviado el: miércoles, 10 de septiembre de 2025 6:46 p. m.

Para: Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>; Juan Andres Perez Almeida - Cont <jperez@mincit.gov.co>; Mariam Ibeth Guerra de Luque - Cont <mguerra@mincit.gov.co>

Asunto: RV: Comentarios adicionales de CADENA S.A en la etapa de práctica de pruebas - AD Papel Bond originario de Brasil

Estimados, PSI y fines pertinentes.

Cordialmente:



Subdirector de Prácticas
Comerciales (E)
Carlos Andrés Camacho Nieto
ccamacho@mincit.gov.co
Teléfono: (+57) 601 6067676
ext. 2225/1694
Subdirección de Prácticas
Comerciales
Calle 28 No. 13 A – 15 Piso
16
Bogotá, Colombia
www.mincit.gov.co

ADVERTENCIA: Este mensaje y cualquier archivo anexo son confidenciales y para uso exclusivo de su destinatario.

La utilización, copia, reimpresión y/o reenvío del mismo por personas distintas al destinatario están expresamente prohibidos.

Si usted no es destinatario, favor notificar en forma inmediata al remitente y borrar el mensaje original y cualquier archivo anexo

De: Carolina Tobon Zapata <carolina.tobon@cadena.com.co>

Enviado: miércoles, 10 de septiembre de 2025 16:13

Para: Carlos Andres Camacho Nieto <ccamacho@mincit.gov.co>

Cc: Francisco Melo Rodríguez <fmelo@mincit.gov.co>; Amena del Carmen Maestre Alvarado <amaestre@araujoibarra.com>; Juan Manuel del Corral Suescun <juanmanuel.delcorral@cadena.com.co>; Paula Loaiza Salazar <paula.loaizas@cadena.com.co>

Asunto: [*Dominio Sospechoso*] Comentarios adicionales de CADENA S.A en la etapa de práctica de pruebas - AD Papel Bond originario de Brasil

Bogotá D.C., 10 de septiembre de 2025

Doctor

CARLOS ANDRÉS CAMACHO NIETO

Subdirector de Práctica Comerciales (E)

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO

Ciudad

Asunto: Comentarios adicionales con relación a la práctica de pruebas en el marco de la investigación para la adopción de derechos antidumping a las importaciones de Papel Bond clasificadas bajo las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00 originarias de República Federativa del Brasil (Versiones Confidencial y Pública)

Expediente: D-105-02-139.

Respetado Doctor,

En el marco del proceso de la referencia, y dentro de la oportunidad procesal prevista en el artículo 2.2.3.7.6.10 del Decreto 1794 de 2020, me permito presentar el presente documento, dentro del término establecido para la práctica de pruebas, según el plazo establecido en la Resolución 200 del 4 de agosto de 2025.

Este escrito complementa la información previamente aportada durante la etapa de práctica de pruebas, con base en los hallazgos consignados en el informe de visita de verificación realizada por la Autoridad, así como en la evidencia técnica y documental adicional presentada.

Adicionalmente, y con el propósito de ilustrar de manera directa los argumentos técnicos, se allegaron a las oficinas de la Autoridad, junto a una versión física del presente documento, muestras físicas de papel bond tipo inkjet en blanco y de bienes finales producidos por CADENA S.A. con papel bond tipo láser e inkjet, las cuales solicitamos sean tenidas en cuenta como parte de esta etapa probatoria.

La información anteriormente mencionada se encontrará en el documento adjunto junto a la carpeta comprimida que incluye los anexos referenciados en el documento.

Cordial saludo,

cadena.

Carolina Tobón Zapata

Gerente Financiera

(57-4) 378 66 66 ext 173- (+57) 300 6190988

carolina.tobon@cadena.com.co

Carrera 50 N° 97A Sur – 150

La Estrella - Antioquia

www.cadena.com.co

----- La información contenida en este mensaje y en sus anexos es estrictamente confidencial y pertenece en forma exclusiva a Cadena S.A. Si Usted no es el destinatario real, por favor destruya en forma inmediata este mensaje y sus anexos, e informe de ello inmediatamente al remitente. Usted no podrá retener, grabar o usar el presente mensaje con ningún propósito, ni podrá divulgarlo parcial o totalmente a ningún tercero, sin autorización

previa del remitente. Este mensaje ha sido verificado con software antivirus, en consecuencia, el remitente de éste no se hace responsable por la presencia en él o en sus anexos de algún virus que pueda generar daños en los equipos o programas del destinatario. -----

----- The information contained in this message and its attachments is strictly confidential and is the exclusive property of Cadena S.A. If you are not the intended recipient, please delete this message and its attachments at once, and promptly inform the sender. You may not retain, record or use this message for any purpose whatsoever or disclose it in whole or in part to a third party, without direct permission of the original sender. This message has been checked with an antivirus software, accordingly, the sender is not liable for the presence of any virus in attachments that causes or may cause damage to the recipient's equipment or software.'

Bogotá D.C., 10 de septiembre de 2025

Doctor

CARLOS ANDRÉS CAMACHO NIETO

Subdirector de Práctica Comerciales (E)

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO

Ciudad

Asunto: Comentarios adicionales con relación a la práctica de pruebas en el marco de la investigación para la adopción de derechos antidumping a las importaciones de Papel Bond clasificadas bajo las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00 originarias de República Federativa del Brasil - Versión Pública.

Expediente: D-105-02-139.

Respetado Doctor,

Yo, Juan Manuel del Corral Suescún, identificado con número de cédula de ciudadanía 70.039.755, en mi calidad de representante legal de la empresa Cadena S.A., me permito presentar, dentro de la etapa de práctica de pruebas de la investigación de la referencia, este documento para complementar la información presentada previamente, a partir de lo verificado por la Autoridad en la visita realizada a nuestras instalaciones el 26 de agosto de 2025, así como, brindar información adicional para la consideración de esta Autoridad.

En particular, se reitera que CADENA no actúa como comercializador de papel, sino como transformador industrial que requiere insumos con propiedades técnicas específicas para garantizar el cumplimiento de contratos con clientes estratégicos en sectores público y privado.

A continuación, se exponen los argumentos que sustentan nuestra posición, sin perjuicio que los mismos sean complementados y profundizados durante las demás etapas procesales establecidas en el Decreto 1794 de 2020:

1. Aclaraciones sobre el papel bond requerido por CADENA en su proceso productivo.

Durante la visita y con soporte en el flujo general del proceso productivo (Anexo 1), quedó claro que el papel bond constituye el insumo central en todas las etapas de producción: desde la recepción y almacenamiento de bobinas hasta el corte, impresión, acabados y despacho, siendo la calidad y características técnicas un aspecto clave para decidir si es posible incorporar este papel en el proceso de producción de sus bienes finales.

Teniendo en cuenta lo anterior, CADENA utiliza principalmente **Papel bond tipo láser** importado, con estabilidad dimensional y cualidades superiores, lo que evita retrocesos productivos y problemas de calidad en el producto final. Específicamente, el papel bond láser originario de Brasil presenta mayor resistencia al rasgado, menor nivel de humedad y anchos de bobina adecuados a la maquinaria de CADENA, en contraste con el producto nacional que genera atascos en máquina, desperdicios y productos que no cumplen con los estándares de calidad necesarios para ciertos bienes finales como es el caso de las fajillas.

Adicionalmente, se emplea el **Papel bond tipo inkjet** importado, el cual cuenta con cualidades técnicas y un tratamiento especial que asegura un acabado de alta calidad, buena resolución de los colores y secado inmediato en impresión digital de alta velocidad. El papel bond tipo inkjet posee un anclaje especializado para la impresión digital de alta precisión, garantizando nitidez, secado rápido y durabilidad, cualidades esenciales para productos como los billetes de lotería. Este tipo de papel no es producido por Carvajal Pulpa y Papel S.A., hecho corroborado en el portafolio del productor nacional.

De esta manera, y como se indicó en el documento radicado ante la autoridad el pasado 4 de julio, se ratifica que ninguno de estos papeles es producido por el fabricante nacional en las especificaciones (presentaciones y características técnicas) requeridas por CADENA.

1.1. Características técnicas del papel láser y papel inkjet importado frente al producto nacional

La comparación técnica entre los papeles importados utilizados por CADENA y el producto nacional resulta fundamental para establecer si, en efecto, pueden considerarse similares en el marco de esta investigación. En este caso, la determinación de la similaridad no puede limitarse a una revisión superficial de gramajes o denominaciones comerciales, sino que debe atender a características físicas, mecánicas y funcionales que inciden directamente en el desempeño productivo y en la calidad de los bienes finales de CADENA.

En nuestro caso, tanto el papel bond tipo láser como el papel bond tipo inkjet importados desde Brasil cumplen con parámetros técnicos específicos de resistencia, estabilidad y acabado que son imprescindibles para atender los requerimientos de clientes estratégicos en sectores de alta sensibilidad. Por el contrario, el papel bond producido en Colombia no reúne estas condiciones, lo cual ha quedado demostrado en pruebas internas de laboratorio, ensayos comparativos y la propia verificación realizada por la Autoridad Investigadora el pasado 26 de agosto de 2025.

La siguiente tabla recoge las diferencias identificadas entre **el papel bond tipo láser** importado de Brasil (Suzano) y el papel bond nacional, diferencias que ponen en evidencia la imposibilidad de considerarlos productos similares en sentido técnico y funcional.

Tabla 1. Diferencias entre el papel bond tipo láser importado de Brasil (Suzano) y el papel producido en Colombia.

Criterio	Papel de Pulpa de Eucalipto	Papel de Bagazo de Caña de Azúcar	Variable asociada
Calidad de impresión	Alta definición de color	Media (limitada en impresión de alta exigencia)	Longitud de fibra
Blancura	Alta (aparición blanca refinada)	Moderada (tono más amarillento)	Blancura
Opacidad	Alta (ideal para impresión a doble cara)	Media (puede presentar traspaso de tinta)	Opacidad
Resistencia al rasgado	Alta (mayor integridad estructural)	Baja (menos resistente en manipulación)	Rasgado Tr y LO
Comportamiento en impresión digital	Excelente anclaje de tinta, baja generación de polvo	Aceptable en impresoras básicas, menor estabilidad	Tracción y rasgado
Sostenibilidad	Plantaciones sostenibles, economía circular	Muy alta (residuo agroindustrial, bajo impacto ecológico)	
Aplicaciones recomendadas	Revistas, catálogos, libros ilustrados, etiquetas, empaques premium, material POP	Papelería ecológica, formularios, empaques biodegradables, productos promocionales sostenibles	

VARIABLES CRÍTICAS DE PROCESO					
Variable	Papel de Pulpa de Eucalipto	Papel de Bagazo de Caña de Azúcar	Unidad de medida	Funcionalidad en Papel fabricado con Bagazo de Caña de Azúcar para Cadena	Desempeño en proceso productivo
Gramaje	75	75	g/m2	Funcional	Sin Novedad
Calibre	101	102	micra	Funcional	Sin Novedad
Opacidad	91	87	%	No Funcional	En % por debajo de 90% genera variación de tono
Blancura	98	No específica en ficha técnica	%	No Funcional	Papel de Bagazo de caña tiene coloración amarilliza, generando variación en los colores de la impresión
% Humedad	4,3	4,3	%	No Funcional	Humedad alta presenta inconvenientes de encocamiento de papel, atascamiento en máquina y mala presentación en productos impresos
Tracción Longitudinal	9,2	5,4	kgf/15mm	No Funcional	Genera problemas de desempeño en máquinas de corte por atascamiento cuando se tienen valores bajos
Tracción Transversal	2,2	2,5	kgf/15mm	Funcional	Sin Novedad
Rasgado Longitudinal	43	40	gf	No Funcional	Genera fractura del papel en proceso de impresión, así como en la manipulación del uso final de los productos impresos
Rasgado Transversal	54	47	gf	No Funcional	
Longitud de fibra	4-6	1,5	mm	No Funcional	En fibras cortas, se presenta menos estabilidad de los papeles en la impresión y son menos resistentes a la tensión en máquinas, tienen a fracturar
Tipo de Fibra	Fibra Larga	Fibra Corta		No Funcional	
Presentación Rollo	Desde 25,5	Desde 50	cm	No Funcional	Genera altos desperdicios y sobrecostos en medidas por encima de 43,2 cm, por requerir convertir a medidas para producción y/o desperdicio por cortes a medida final del cliente (quien asume este costo es el fabricante del producto)

Fuente: CADENA; Fichas técnicas SUZANO y Fichas técnicas CARVAJAL.

A partir de la información presentada en las tablas de diferencias para el **papel bond tipo láser** es posible confirmar los siguientes aspectos con relación a características críticas:

- Resistencia mecánica:** El papel de Suzano mostró una resistencia al rasgado superior, condición crítica para productos como fajillas bancarias o documentos de alta manipulación. El papel nacional, en cambio, presentó fallas recurrentes que, anteriormente, conllevó a reclamaciones de clientes y pérdidas económicas para CADENA.
- Estabilidad dimensional y procesabilidad:** El papel láser importado mantiene un mejor comportamiento frente a la humedad y a la tensión de las máquinas, reduciendo

atascos y desperdicios durante la impresión. El papel nacional generaría paradas frecuentes en la línea de producción, afectando la eficiencia operativa.

- c. **Calidad de impresión:** El papel de Suzano ofrece una superficie homogénea y adecuada absorción de tinta, lo que se refleja en impresiones nítidas y uniformes. En contraste, el papel nacional presenta características que limitan la apariencia del color y la definición en pruebas de impresión digital.
- d. **Compatibilidad con maquinaria:** El papel importado se adapta a los formatos de 43,2 cm requeridos por la maquinaria de CADENA, mientras que el papel nacional se ofrece en bobinas de mínimo 50 cm, lo que obliga a procesos de corte adicionales, generando sobrecostos y pérdida de calidad.

Adicionalmente, es importante destacar que el papel láser importado (Suzano) cumple con los estándares, así como, con los tiempos de entrega acordados y exigidos en segmentos de alto riesgo reputacional y operativo como son las pruebas educativas, comunicaciones transaccionales, entre otros; mientras que el papel nacional no ofrece garantías equivalentes, limitando la capacidad de CADENA de responder a sus contratos más críticos.

Por otro lado, el **papel bond tipo Inkjet no recubierto** que empleamos en nuestros procesos de impresión digital está desarrollado específicamente para sistemas de alta velocidad con tintas base agua (**dye**). A diferencia de los papeles estucados o esmaltados, este sustrato mantiene una superficie natural mate, sin brillo, pero incorpora un tratamiento técnico no visible que regula la absorción de la tinta, acelera el secado y asegura una reproducción precisa de textos e imágenes en alta resolución (Anexo 2).

Su estructura física y composición fibrosa garantizan estabilidad dimensional, elevada opacidad y un excelente desempeño en procesos de acabado como corte, plegado y encuadernación. Además, ofrece una blancura superior y superficie homogénea, lo que favorece la nitidez y el contraste de la impresión sin afectar la productividad de los equipos.

Las pruebas técnicas realizadas en planta evidencian que, pese a la solubilidad característica de las tintas **dye**, el papel mantiene la integridad de la imagen aun en condiciones de exposición al agua, evitando que la tinta se corra o pérdida de legibilidad.

El **papel bond tipo Inkjet no recubierto** se diferencia claramente de otros sustratos y es la opción adecuada para aplicaciones que exigen calidad, eficiencia y confiabilidad en producción continua.

La siguiente tabla recoge las diferencias identificadas entre **el papel bond tipo inkjet** importado de Brasil (Sylvamo) y **el papel bond tradicional o estándar**:

Tabla 2. Diferencias entre el papel bond tipo inkjet importado y el papel bond tradicional o estándar (papel producido en Colombia).

Criterio	Papel Inkjet no esmaltado	Papel Bond Tradicional
Diseño técnico	Optimizado para impresión digital de alta velocidad con tintas base agua	Recomendado para impresión de productos editoriales en policromías.
Recubrimiento superficial	No esmaltado. Tratamiento especializado que regula absorción y secado de tinta	No esmaltado, Sin recubrimiento, absorción libre.
Compatibilidad con tintas inkjet dye	Alta: impresión precisa, sin corrimiento ni saturación	Baja: tinta se dispersa, y los gráficos quedan con baja nitidez
Resolución de impresión	Alta: apto para texto fino, imágenes detalladas y color vibrante	Limitada: no apto para gráficos complejos
Consumo de tinta inkjet dye	Eficiente: menor carga de tinta sin pérdida de calidad	Mayor consumo para resultados aceptables
Estabilidad dimensional	Alta: mantiene forma y planitud en impresión continua	Media: sensible a humedad y temperatura
Aplicaciones recomendadas	Transaccional, editorial, publicitaria, libros, catálogos, impresión variable	Talonarios, recibos, formatos continuos, copias internas
Costo	Alto, justificado por rendimiento y calidad	Medio
Resistencia al agua (con tintas dye)	Alta en pruebas reales: la tinta no se corre al contacto con agua	Muy baja: tinta se dispersa rápidamente
CONCLUSIONES		
El papel inkjet especializado demuestra ser la mejor opción para impresión digital con tintas dye, ofreciendo:		
Alta calidad de imagen.		
Estabilidad frente al agua, comprobada en pruebas internas.		
Eficiencia operativa en procesos de alta velocidad.		
Compatibilidad con acabados industriales.		
En contraste, el papel bond y el papel formas/fotocopia, aunque útiles en contextos administrativos, no cumplen con los requisitos técnicos ni de calidad para impresión digital con tintas dye, especialmente en aplicaciones gráficas o editoriales.		

Fuente: CADENA.

A partir de este análisis entre las diferencias técnicas entre el **papel bond inkjet no esmaltado importado** y el **papel bond tradicional producido en Colombia**, se obtienen conclusiones claras sobre la imposibilidad de considerarlos productos similares en el marco de la presente investigación:

- a. **Diseño y funcionalidad:** El papel bond tipo inkjet fue concebido específicamente para la impresión digital de alta velocidad con tintas base agua, garantizando precisión en texto e imágenes. En contraste, el papel bond tradicional está diseñado para usos

editoriales convencionales y no responde a las exigencias de impresión digital moderna.

- b. **Recubrimiento y absorción de tinta:** El papel bond inkjet no cuenta con recubrimientos o esmaltados, sino que incorpora un tratamiento especializado que regula la absorción y el secado, evitando corrimientos y manchas. El bond tradicional carece de dicho tratamiento, lo que provoca dispersión de tinta y baja definición gráfica en impresión digital.
- c. **Compatibilidad con tintas inkjet dye:** El papel bond inkjet logra un anclaje eficiente, permitiendo impresiones de alta nitidez. El papel bond tradicional muestra baja compatibilidad: la tinta se corre y las imágenes resultan imprecisas, lo que lo hace inviable para aplicaciones de alta calidad como las que requiere CADENA.
- d. **Calidad de impresión y consumo de tinta:** Con papel bond inkjet se obtiene resolución superior con menor consumo de tinta, lo que se traduce en eficiencia operativa. En el caso del bond tradicional, para alcanzar resultados aceptables se requiere mayor carga de tinta, aumentando costos y reduciendo competitividad.
- e. **Estabilidad dimensional y durabilidad:** El papel bond inkjet mantiene planitud y forma constante incluso en condiciones de humedad y temperatura propias de la impresión continua. El bond tradicional es más sensible, afectando la continuidad y confiabilidad de la producción.
- f. **Aplicaciones y mercado:** El papel inkjet es insumo crítico para segmentos de alto valor agregado como editorial, publicitario, libros, catálogos y loterías. Por su parte, el bond tradicional se limita a formatos sencillos, recibos o copias internas, usos administrativos de menor exigencia técnica.
- g. **Resistencia al agua:** Las pruebas internas y presentadas durante la visita de verificación de la Autoridad, confirman que el papel inkjet conserva la nitidez de impresión incluso al contacto con agua, mientras que el bond tradicional pierde inmediatamente la legibilidad.

En conclusión, el **papel bond inkjet importado constituye un producto especializado y de alto desempeño diferente al producto nacional**, indispensable para el proceso productivo de CADENA y para cumplir con estándares internacionales en impresión digital. El **papel bond tradicional nacional, aunque útil para funciones administrativas básicas, no cumple con los requisitos técnicos ni de calidad** exigidos en aplicaciones gráficas o editoriales avanzadas.

De esta manera, las pruebas documentales y de laboratorio confirman que el papel bond tipo láser y tipo inkjet importado y el papel nacional no son técnicamente similares ni cumplen las mismas funciones en el mercado. Esta conclusión respalda la solicitud de CADENA de excluir del alcance de esta medida antidumping aquellos papeles especializados, como el inkjet y el

láser de ciertas especificaciones, que no cuentan con producción nacional equivalente o similar.

1.2. Inexistencia de una rama de producción nacional de papel bond tipo inkjet y limitaciones de la oferta nacional

En Colombia, aunque existen productores de papel como Carvajal Pulpa y Papel S.A. con capacidad para atender parte del mercado con papel bond, **su participación en el segmento del papel bond tipo inkjet especializado y requerido por CADENA es nula**. Este tipo de papel no hace parte de su portafolio regular de producción y, por tanto, no puede ser considerado una alternativa viable para cubrir la demanda interna de estos insumos.

Asimismo, la visita a la planta de producción de CADENA en Yumbo, Valle del Cauca, permitió evidenciar de forma práctica aspectos como:

- Atascos y fallas en equipos de impresión y corte al utilizar papel bond nacional.
- Menor resistencia al rasgado en productos finales elaborados con el producto nacional, confirmada mediante pruebas comparativas con el caso de las fajillas bancarias. Asimismo, los clientes reportaron inconformidades asociadas al uso de papel nacional en este producto, confirmando que sus propiedades físicas no cumplen con estándares críticos de resistencia.
- Afectaciones logísticas y financieras derivadas del uso de papel nacional.
- Diferencias en la calidad del producto terminado y en el cumplimiento de los estándares establecidos para productos exigentes como los billetes de lotería.

Estos hallazgos técnicos confirman que el producto nacional no cumple con los estándares exigidos por CADENA ni por sus clientes estratégicos, lo que hace inviable sustituir los papeles importados. Del mismo modo, es posible afirmar que estos problemas no derivan del proceso de CADENA sino de las **características intrínsecas del papel nacional**.

2. Otras posibles causas de daño - Rompimiento del nexo causal

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 3.5 del Acuerdo Antidumping de la OMC y en el numeral 5 del artículo 2.2.3.7.4.1 del Decreto 1794 de 2020, a continuación, se presentan pruebas que evidencian la ausencia de una relación causal entre las importaciones investigadas y el daño en la rama de producción nacional, siguiendo lo establecido en la normativa:

*“5. La Autoridad Investigadora examinará cualquier otro factor conocido aparte de las importaciones objeto de dumping de que tenga conocimiento, que simultáneamente causen daño a la rama de producción nacional a fin de garantizar, en desarrollo del principio de no atribución, que el daño causado por ese otro factor no se atribuya a las importaciones objeto de dumping. Entre los factores pertinentes a este objetivo se encuentran examinar **el volumen y los precios de las importaciones no vendidas a precios de dumping, la contracción de la demanda o las variaciones de la***

estructura del consumo, las prácticas comerciales restrictivas de los productores extranjeros y nacionales y la competencia entre unos y otros, la evolución de la tecnología, los resultados de la actividad exportadora y la productividad de la rama de producción nacional.” (Negrilla por fuera del texto).

2.1. Variaciones de la estructura de consumo y evolución de la tecnología

A lo largo de su historia, Cadena ha mantenido un compromiso constante con la industria nacional. Por varios años, su abastecimiento de papel bond provino de **Cartón de Colombia S.A.** (en adelante, Cartón de Colombia), proveedor nacional que fue parte esencial de la cadena de suministro hasta la desactivación de sus molinos para este tipo de papel.

Es importante reiterar que nuestro modelo de negocio particularmente en la manufactura, **no se basa en la comercialización del papel bond, sino en su utilización como insumo productivo para la elaboración de bienes finales** como formularios, documentos transaccionales, boletos, material pedagógico y piezas impresas de alto valor agregado.

Por lo tanto, se precisa que CADENA recurrió a la importación de papel tras el **cierre de la planta de Cartón de Colombia en 2022**, que hasta entonces producía papel tipo láser con las propiedades requeridas. La oferta de Carvajal no cubrió estas necesidades, ni en papel láser ni en inkjet, lo cual obligó a la empresa a importar estos insumos de diferentes orígenes, incluido Brasil. Además, se debe destacar que fue Cartón de Colombia quién recomendó a Suzano como proveedor, al conocer las especificaciones requeridas por CADENA para el papel bond tipo láser empleado en los procesos productivos de la compañía.

Adicionalmente, el formato limitado ofrecido por Carvajal (bobinas mínimo de 50 cm) no se ajusta a los requerimientos técnicos de la maquinaria de CADENA (43,2 cm), generando sobrecostos y problemas de desempeño.

2.1.1. Relación comercial entre Cadena S.A. y Smurfit Kappa

La relación comercial entre Cadena S.A. y Smurfit Kappa (antes Cartón de Colombia) inició en el año 2009 y se extendió de manera continua hasta el cierre de la operación de papeles de imprenta y escritura en 2022. Durante este período, Smurfit fue un proveedor estratégico de CADENA, suministrando referencias como **Impresión Digital, Cartoffset y CartoPrint**, en distintos gramajes y anchos, que se ajustaban plenamente a las necesidades técnicas de los procesos de impresión de la compañía.

El certificado expedido por Smurfit en julio de 2025 (Anexo 3) confirma que esta relación fue permanente, estable y satisfactoria, destacando la calidad homogénea del papel, su excelente desempeño en procesos exigentes y la confiabilidad logística del suministro. Este abastecimiento nacional fue determinante para que CADENA pudiera garantizar la continuidad de sus operaciones en sectores sensibles como salud, educación y servicios públicos.

Asimismo, Smurfit resalta en dicho documento que la relación con CADENA se basó en el respeto mutuo, la comunicación constante, la innovación y la flexibilidad para atender requerimientos operativos. Estos elementos permitieron sostener una operación eficiente y

confiable hasta el año 2022, cuando la compañía decidió cerrar definitivamente su línea de producción de papeles de impresión y escritura para concentrarse en otros segmentos.

Este hecho demuestra que CADENA no recurrió históricamente a la importación de papel como estrategia principal, sino que lo hizo de manera obligada a partir de 2022, cuando desapareció la oferta nacional de papeles con las especificaciones técnicas necesarias para su proceso productivo. Por lo tanto, **la importación no fue una decisión estratégica por precios, sino una medida forzada por la falta de oferta local**, situación que agradecemos sea considerada por la Autoridad Investigadora en el análisis de la definición de producto y de la necesidad de acceso a insumos internacionales.

2.1.2. La tecnología de CADENA en su proceso productivo

El proceso productivo de CADENA se soporta en la utilización de la plataforma **CONFIDENCIAL** una impresora de inyección de tinta de alimentación continua que constituye un activo estratégico de la compañía para atender contratos de gran volumen en sectores como servicios públicos, educación, banca y loterías.

Este equipo opera a altas velocidades (**CONFIDENCIAL**) y permite producir impresiones transaccionales y comerciales con requerimientos de nitidez, durabilidad y consistencia. Para lograr estos estándares, la impresora incorpora tecnología de inyección de gota variable, gestión de color basada en estándares internacionales (ICC) y mecanismos de recuperación de errores a nivel de página, lo cual garantiza la confiabilidad de la producción.

No obstante, su desempeño depende de manera crítica del tipo de papel utilizado. La ficha técnica del fabricante establece que la máquina requiere papeles con propiedades específicas de resistencia, absorción y estabilidad dimensional, que aseguren un secado rápido y eviten atascos en la línea de impresión (Anexo 4). El incumplimiento de estas especificaciones puede:

- Reducir la velocidad efectiva de producción, al generar cortes en la operación para limpiar o reiniciar el equipo.
- Afectar la calidad de impresión, disminuyendo la nitidez o provocando manchas.
- Incrementar los desperdicios, al provocar roturas de papel o inconsistencias en el color.
- Incluso **invalidar la garantía del fabricante**, pues el manual advierte que el uso de papeles no compatibles puede comprometer el funcionamiento del equipo.

En la práctica, las pruebas comparativas realizadas por CADENA muestran que el **papel importado de Brasil (láser e inkjet)** cumple con los requisitos de **CONFIDENCIAL**, garantizando estabilidad, productividad y óptimo funcionamiento. Por el contrario, el papel producido en Colombia presenta deficiencias de resistencia al rasgado y problemas en la absorción de tinta que afectan directamente la operación de esta máquina.

Así, la elección de papeles importados no obedece únicamente a una preferencia discrecional de CADENA, sino a una **condición técnica requerida por la propia tecnología utilizada en**

su proceso productivo. Este hecho es determinante para demostrar que el producto nacional no puede considerarse similar al papel importado objeto de investigación.

3. Implicaciones de la medida arancelaria para una operación crítica

En el marco de la investigación antidumping al papel bond y la imposición de medidas preliminares, consideramos fundamental explicar de manera clara cómo afecta esto a Cadena, una empresa que no participa del negocio del papel como tal, pero que sí depende de él para cumplir su propósito.

En Cadena no actuamos como importadores ni como comercializadores de papel. Nuestro interés no está en el negocio del papel en sí, sino en contar con materias primas eficientes, confiables y a precios razonables, que nos permitan cumplir con nuestro propósito: entregar de manera precisa, segura y oportuna documentos críticos para los clientes de nuestros clientes, como entidades públicas, financieras, educativas y de servicios. No negociamos el papel, lo usamos como insumo en un servicio altamente regulado, donde lo que está en juego es la confianza y la continuidad operativa de nuestros clientes.

La necesidad de importar papel no fue una decisión estratégica de Cadena, sino una respuesta obligada tras el cierre del molino de bobinas de Smurfit Kappa en 2022, que decidió reorientar su operación hacia la producción de cartón corrugado. Desde entonces, nos vimos forzados a abastecernos del exterior, lo que nos expuso a mayores tiempos de entrega, costos logísticos, necesidad de mantener más inventario y una mayor presión sobre nuestro capital de trabajo y flujo de caja. Este impacto operativo y financiero se ve agravado por medidas como el arancel impuesto, que termina afectando de manera directa la continuidad, costos y estabilidad de estas operaciones, muchas de las cuales no admiten fallas ni sustituciones inmediatas, como es el caso de empresas como Cadena, que usan el papel como un medio para garantizar servicios críticos al Estado y al sector productivo del país.

4. Solicitud

Con fundamento en la evidencia técnica, documental y verificaciones realizadas por la propia Autoridad Investigadora en las instalaciones de CADENA S.A., así como en los anexos aportados dentro de esta etapa procesal, respetuosamente solicitamos:

- a. Excluir expresamente el **papel bond tipo inkjet** del alcance de la medida antidumping, ya que este papel no es producido en Colombia, lo cual fue confirmado en el portafolio del único productor nacional. Además, es un insumo indispensable para el funcionamiento de la tecnología de impresión de alta velocidad utilizada por CADENA (**CONFIDENCIAL**) y no cuenta con productos locales similares o equivalentes.
- b. Reconocer las diferencias entre el **papel bond tipo láser producido en Brasil y el papel bond nacional**. Las pruebas comparativas de laboratorio y producción

evidenciaron diferencias significativas en resistencia al rasgado, estabilidad dimensional, calidad de impresión y compatibilidad con la maquinaria de CADENA.

Dichas diferencias impiden considerar al producto nacional como un papel similar al importado en segmentos especializados, donde CADENA debe garantizar calidad y continuidad a clientes estratégicos.

- c. Tener en cuenta las limitaciones de abastecimiento en el mercado nacional. Tras el cierre de la operación de Smurfit Kappa en 2022, desapareció la única fuente local capaz de ofrecer papel con las características requeridas por CADENA a su vez que, el suministro ofrecido por Carvajal se ha mostrado insuficiente y técnicamente inadecuado para reemplazar el papel importado, incluso con sobrecostos y procesos adicionales.
- d. Considerar los argumentos que permiten diferenciar el producto investigado de otros tipos de papel bond. De esta manera, la definición del producto debe acotarse de manera que refleje las diferencias técnicas y de uso entre las variedades producidas nacionalmente y las que CADENA importa para atender contratos en sectores críticos (educación, servicios públicos, banca, loterías).

Una medida definitiva con alcance amplio restringiría el acceso a insumos esenciales que no se producen a nivel nacional y pondría en riesgo la prestación de servicios a entidades del sectores público y privado que impactan directamente al ciudadano.

En consecuencia, solicitamos respetuosamente que, en la determinación final de la presente investigación, la Autoridad excluya del alcance de la medida aquellos papeles especializados, particularmente el **papel bond tipo inkjet** y las **especificaciones técnicas del papel láser utilizado por CADENA, para los cuales no existe producción nacional o producto similar**, garantizando así que la medida no se convierta en una restricción desproporcionada que afecte la continuidad de nuestros servicios estratégicos para el país.

Adicionalmente, informamos a la Autoridad Investigadora que junto con el presente escrito se allegan muestras físicas de **papel bond tipo inkjet en blanco**, así como **ejemplos de los bienes finales producidos por CADENA S.A.** con papel bond tipo láser (recibos o facturas de servicios público, exámenes institucionales, entre otros) e inkjet (loterías). Estas muestras tienen el propósito de ilustrar de manera directa las diferencias técnicas y de desempeño frente al papel bond tradicional, así como de evidenciar la calidad requerida en los productos que la empresa entrega a sus clientes estratégicos. Por lo tanto, solicitamos respetuosamente que dichas muestras sean tenidas en cuenta como parte de esta etapa probatoria de la investigación.

5. Anexos

Como se ha descrito a lo largo del presente documento, aportamos los siguientes anexos para que sean considerados por la Autoridad Investigadora dentro de este proceso:

- **Anexo 1.** Flujo del Proceso General de CADENA – Versión Pública y Confidencial.

- **Anexo 2.** Información Técnica del Papel Bond Tipo Inkjet importado de Brasil (Sylvamo).
- **Anexo 3.** Certificado de Smurfit Kappa en su relación con CADENA.
- **Anexo 4.** Ficha Técnica de la maquinaria empleada por CADENA – Versión Pública y Confidencial.

6. Justificación de la confidencialidad

De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1794 del 2020 en su artículo 2.2.3.7.6.20:

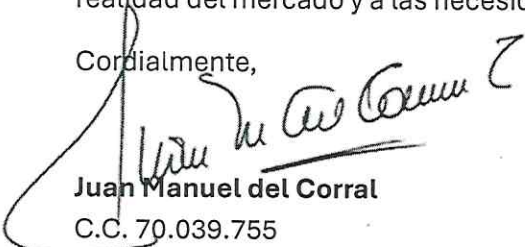
“La Autoridad Investigadora al iniciar la actuación abrirá cuaderno separado para llevar en él los documentos que las autoridades, el peticionario o las partes interesadas, aporten con carácter confidencial. Tal documentación recibirá el tratamiento dispuesto en la Constitución Política y demás normas pertinentes, y solo podrá ser registrada por las autoridades competentes.”

Considerando esto, solicitamos mantener la debida reserva de confidencialidad del presente documento marcado como tal, como quiera que en este incluimos información sensible de la compañía, cuyo conocimiento y divulgación por parte de terceros afectaría negativamente su desempeño.

Adicionalmente, cumpliendo con la obligación de justificar la confidencialidad de los documentos remitidos, se aporta enteramente la versión pública del presente documento relacionado como confidencial.

Finalmente, demostramos nuestra disposición de continuar colaborando activamente con la Autoridad Investigadora y de suministrar cualquier información adicional que estime relevante para la continuación de este caso. Asimismo, manifestamos nuestro agradecimiento por las verificaciones ya realizadas y reiteramos que CADENA S.A. mantendrá siempre una actitud transparente para facilitar el análisis técnico que conduzca a una decisión ajustada a la realidad del mercado y a las necesidades del país.

Cordialmente,



Juan Manuel del Corral

C.C. 70.039.755

Presidente

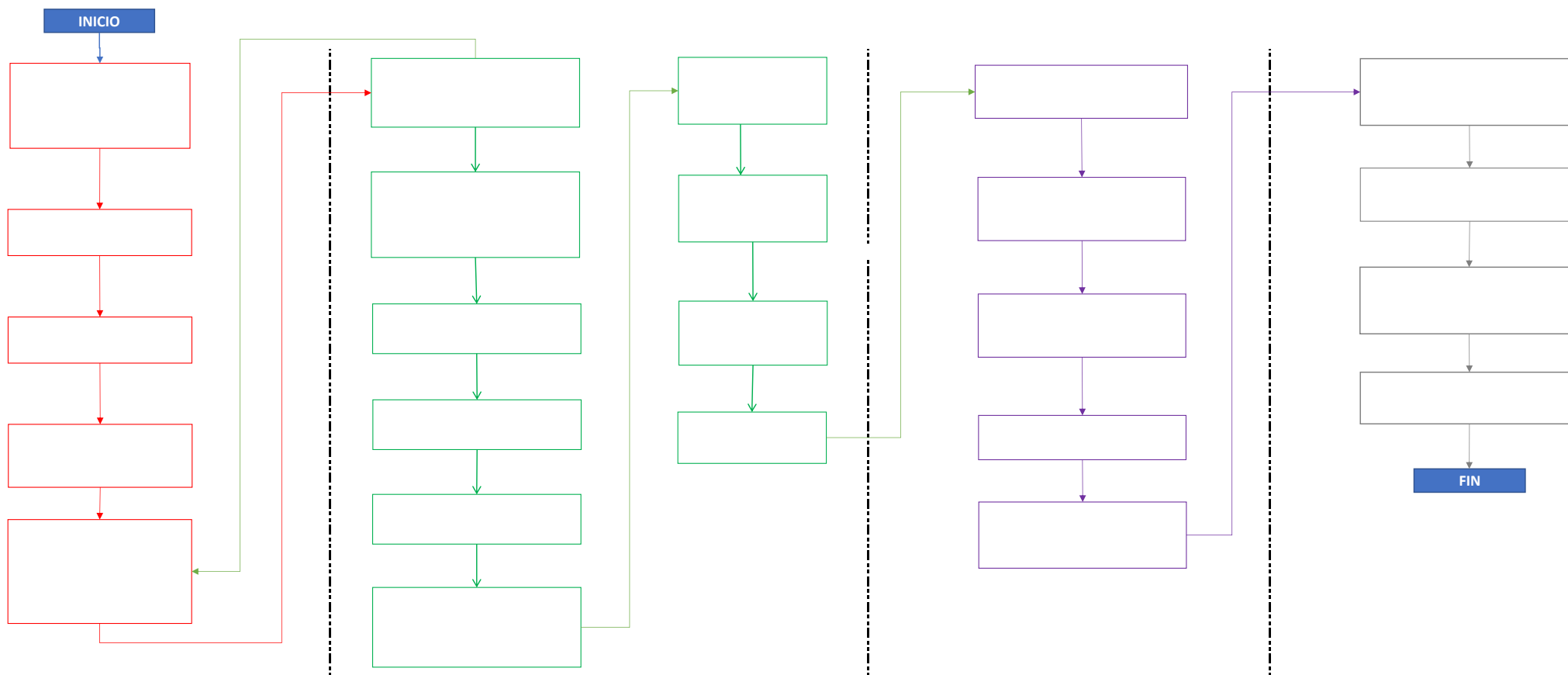
Cadena S.A.

RECEPCIÓN MATERIA PRIMA

PROCESO IMPRESIÓN

PROCESO EMPAQUE

PROCESO DESPACHO





MÁS INTENSIDAD PARA LOS COLORES.

Colores vivos, colores intensos y colores diferentes. Chambril Digital es el primer papel offset para impresiones inkjet de Brasil. Posee la tecnología ImageLok que, junto a la tinta pigmentada de impresión digital inkjet, le da más vivacidad a los colores y aumenta la intensidad del negro. Alta blancura con buena formación, opacidad y resistencia superficial para impresiones en general y datos variables.

Beneficios:

- Excelente compatibilidad con tintas inkjet pigmentadas.
- Alta blancura.
- Excelente formación, opacidad y resistencia superficial.
- Buen cuerpo y estabilidad dimensional.

Especificaciones Técnicas:

Acabado: Bobina.

Gramaje: 75 y 90 g/m².

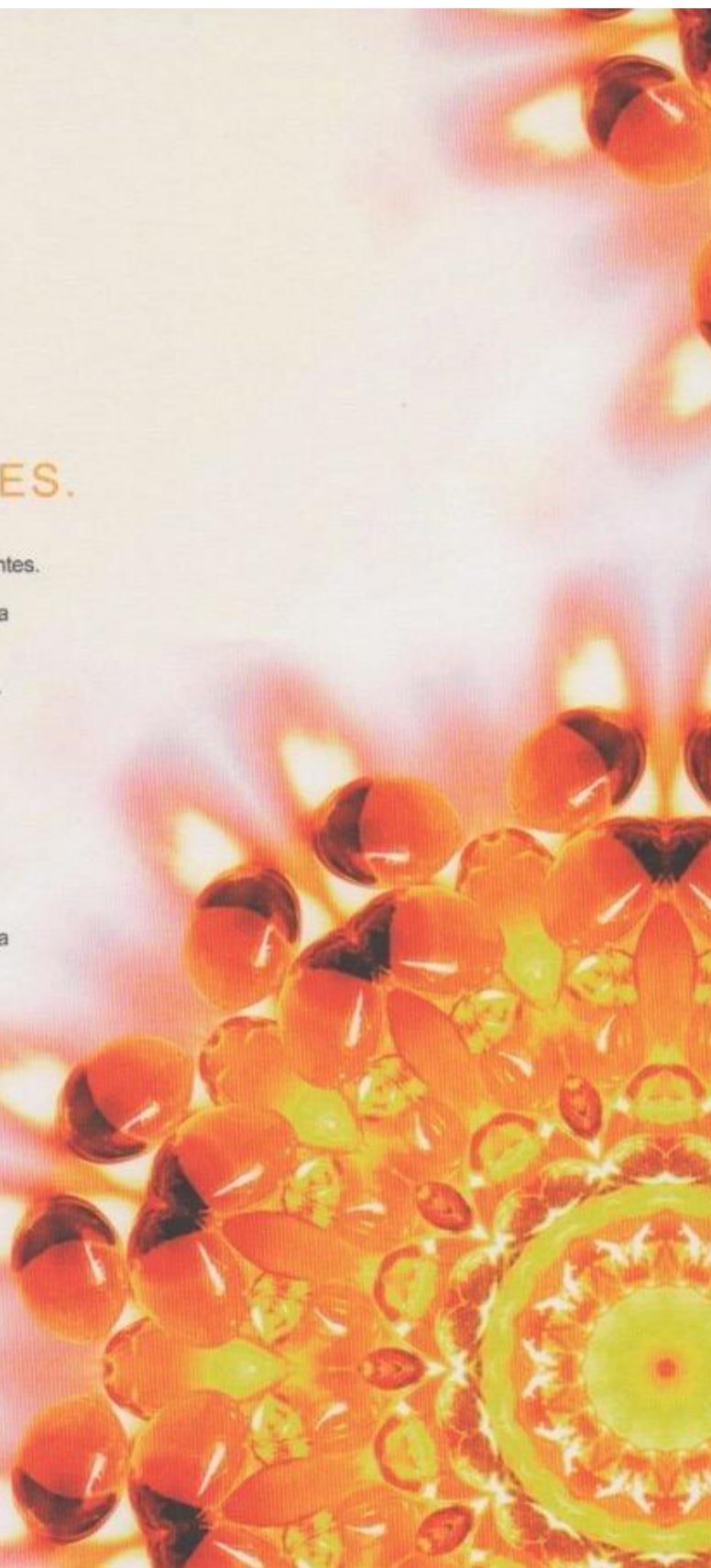
Certificaciones:

Cerflor y FSC Mixto (Sistema de Porcentaje).

Aplicación:

Papel para equipos a base de tinta inkjet pigmentada, para producción de impresiones en general y datos variables.

Proceso de Impresión: impresión digital inkjet con tinta pigmentada.





Chambril
digital

The first Brazilian paper for inkjet digital printers with pigment ink.

Highlights

- ★ ImageLok™ Technology
- ★ More vivid colors and more intense black
- ★ High brightness
- ★ Fast drying

Paper weight range (g/m²)

75 and 90

Certifications

PEFC or FSC™



Available in



Compatible machinery

Inkjet digital printing presses with pigment ink.

Applications

Printed materials in general and variable data in pigment inkjet based equipment.

El primer papel Brasileño para digitales inkjet con tinta pigmentada.

Destaques

- ★ Tecnología ImageLok™
- ★ Colores más vivos y negro más intenso
- ★ Alta blancura
- ★ Secado rápido

Rango de gramajes (g/m²)

75 y 90

Certificaciones

PEFC o FSC™



Disponibile en



Maquinarias compatibles

Impresoras digitales inkjet con tinta pigmentada.

Aplicaciones

Impresos en general y datos variables en equipos a base de tinta inkjet pigmentada.

INTERNATIONAL  PAPER

To : International Paper do Brasil Ltda.
Att : Amanda Pelegrino
Date : May 17th, 2016
Paper : **Chambril Digital 75.0**

		Minimum	Target	Maximum	
Grammage	g/m ²	72.0	75.0	78.0	ISO-536
Thickness	mm/1000	96	98	102	ISO-534
Moisture	%	3.9	4.4	4.9	ISO-287
Brightness – Felt	ISO	95.9	98.0		ISO-2469
Opacity	%	86.0	90.0		ISO-2471
Whiteness (CIE)	D65 10°	158.0	161.0	164.0	ISO-11475

Sincerely

JOSE ALEXANDRE PIOVAN
Process Production Assistant

Cali, 17 de julio del 2025

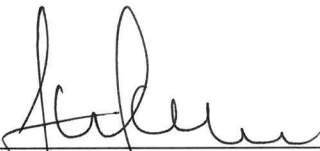
A quien interese,

Por medio de la presente, certificamos que la empresa Cadena S.A. ha sido nuestro cliente desde el año 2009, manteniendo una relación comercial continua y satisfactoria.

Fuimos su proveedor de papeles de imprenta y escritura, suministrándoles nuestras referencias de papel; Impresión Digital, Cartoffset y CartoPrint, en diferentes gramajes y anchos, destacándonos por su excelente comportamiento y alto desempeño en los exigentes procesos de impresión de Cadena S.A., hasta el cierre de nuestra operación de papeles de Impresión y Escritura en el año 2022.

Nuestra relación comercial fundamentada en el respeto mutuo, la comunicación permanente, la innovación, la calidad estable, la flexibilidad para atender las necesidades operativas y una alta confiabilidad logística en el suministro, fue determinante para mantener la continuidad del negocio, especialmente en sectores sensibles como la salud, la educación y los servicios públicos.

Valoramos el enfoque de sostenibilidad de Cadena S.A. alineado a nuestras políticas de abastecimiento responsable y compromiso ambiental.



Luis Fernando Rodriguez
C.C 72.271.674
Representante Legal
Carton de Colombia S.A

**ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DE LA
MAQUINARIA EMPLEADA POR
CADENA – CONFIDENCIAL.**

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL



RV: Suzano Respuesta RI 170925 (Versión Pública)

Desde Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>

Fecha Lun 22/09/2025 9:36 AM

Para Gilma Daniela Rodríguez Correa <grodriguezc@mincit.gov.co>; Sandra Milena Acosta Roa - Cont <sacosta@mincit.gov.co>

 1 archivo adjunto (200 KB)

Suzano Respuesta RI 170925 (VP).pdf;

De: Macias, Nicolas <Nicolas.Macias@bakermckenzie.com>

Enviado el: viernes, 19 de septiembre de 2025 7:11 p. m.

Para: Carlos Andres Camacho Nieto <ccamacho@mincit.gov.co>; Arantxa Andrea Iguaran Fajardo - Cont <aiguaran@mincit.gov.co>

CC: Lopez, Juan David <JuanDavid.Lopez@bakermckenzie.com>; Posse, Martin <Martin.Posse@bakermckenzie.com>

Asunto: Suzano Respuesta RI 170925 (Versión Pública)

Señores

Subdirección de Prácticas Comerciales

Dirección de Comercio Exterior

Ministerio de Comercio, Industria y Comercio

Bogotá, D.C.

E. S. D.

Ref.: Aclaraciones complementarias a las respuestas entregadas por Suzano S. A. en atención al requerimiento de información del 17 de septiembre de 2025, en el marco de la investigación antidumping sobre las importaciones de papel bond clasificadas en las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00, originarias de Brasil.

Expediente: D – 105 – 02 – 139.

Exportador: Suzano S. A.

Versión: Pública.

Juan David López Vergara, mayor de edad, identificado como aparece al pie de mi firma, abogado titulado y en ejercicio, actuando como Apoderado Especial de Suzano S. A., sociedad debidamente constituida bajo las leyes de la República Federativa de Brasil, me permito presentar, dentro del plazo otorgado, respuesta al requerimiento de información del 17 de septiembre de 2025, en el marco de la investigación antidumping sobre las importaciones de papel fotocopia clasificadas bajo las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00, originarias de Brasil.

A continuación, remito el enlace donde se encuentran los anexos que acompañan la respuesta a este requerimiento de información: https://drive.google.com/drive/folders/1AikhDi28pf_nAbTRt-wwQ81al9ofzb3F?

[usp=sharing](#).

Atentamente,

Juan David López Vergara
Apoderado Especial
Suzano S. A.

This message may contain confidential and privileged information. If it has been sent to you in error, please reply to advise the sender of the error and then immediately delete this message. Please visit www.bakermckenzie.com/disclaimer_bogota for other important information concerning this message.

Este mensaje puede contener información confidencial y privilegiada. Si el mismo ha sido enviado a Ud por error, responda por favor para informar el remitente sobre el error y después elimine inmediatamente este mensaje. Por favor visite www.bakermckenzie.com/disclaimer_bogota para otra información importante referente a este mensaje.

Señores
Subdirección de Prácticas Comerciales
Dirección de Comercio Exterior
Ministerio de Comercio, Industria y Comercio

Bogotá, D.C.
E. S. D.

Ref.: Aclaraciones complementarias a las respuestas entregadas por Suzano S. A. en atención al requerimiento de información del 17 de septiembre de 2025, en el marco de la investigación antidumping sobre las importaciones de papel bond clasificadas en las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00, originarias de Brasil.

Expediente: D – 105 – 02 – 139.

Exportador: Suzano S. A.

Versión: Pública.

Juan David López Vergara, mayor de edad, identificado como aparece al pie de mi firma, abogado titulado y en ejercicio, actuando como Apoderado Especial de Suzano S. A. (“**Suzano**” o “**la Compañía**”), sociedad debidamente constituida bajo las leyes de la República Federativa de Brasil, me permito presentar, dentro del plazo otorgado, respuesta al requerimiento de información del 17 de septiembre de 2025 (“**el Requerimiento de Información**”), en el marco de la investigación antidumping sobre las importaciones de papel fotocopia clasificadas bajo las subpartidas arancelarias 4802.55.90.00 y 4802.57.90.00, originarias de Brasil.

1. Oportunidad:

En el Requerimiento de Información se otorgó un plazo hasta el 19 de septiembre de 2025 para remitir, por correo electrónico, la respuesta a lo allí solicitado.

Comoquiera que este escrito se presenta antes de esa fecha, el mismo es oportuno y, en cualquier caso, procedente.

2. Respuesta al Requerimiento de Información:

2.1 Enviar nuevamente el Anexo K con los ajustes efectuados para el cálculo del valor normal y el precio de exportación:

Me permito remitir el Anexo 1 “Ajustes al precio de exportación”, en el cual se incluyen los ajustes requeridos.

2.2 Adjuntar la metodología empleada, junto con los soportes correspondientes de los ajustes realizados para determinar el precio de exportación: mill to port (fábrica a puerto); costo de embarque; indirect sales rate; cuantía del flete marítimo (costo marítimo rate); cuantía del costo del seguro (costo de segura) y costo del embalaje:

Me permito enviar los documentos que evidencian la metodología empleada, así como los soportes de los ajustes realizados para determinar el precio de exportación solicitados, los cuales se encuentran en la carpeta titulada "Anexo 2: Metodología empleada y soportes de los ajustes realizadas para determinar el precio de exportación".

3. Anexos:

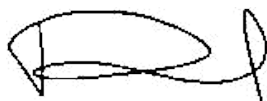
Anexo a esta respuesta los siguientes archivos:

- 3.1 "Anexo 1: Ajustes al precio de exportación".
- 3.2 Carpeta titulada "Anexo 2: Metodología empleada y soportes de los ajustes realizados para determinar el precio de exportación".

4. Notificaciones:

Recibiré notificaciones relacionadas con esta investigación en la dirección de correo electrónico: juandavid.lopez@bakermckenzie.com.

Atentamente,



Juan David López Vergara
Apoderado Especial
Suzano S. A.

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL