

Biopulping: Aplicación de Biotecnología en la Industria del Papel

Estela M. López Sardi *, Beatriz García ** y Antonela Peralta ***

Abstract

The production of pulp for paper industry is a major production activity for several companies in Latin America. In recent years this kind of development has been strongly questioned in our region following the installation of two pulp mills in Uruguay, whose operation is still resisted by a group of Argentine environmental groups. The foundation of the campaign of opposition to the installation and operation of such enterprises is the high degree of environmental pollution that results from the various stages of preparation of cellulose pulp by current thermochemical and mechanical procedures. The procedure known as biopulping, which we define as the biomanufacturing of cellulose pulp by the action of various fungi of the white putrefaction of wood, not only reduces the use of chemicals and therefore the subsequent pollution of the environment but has additional advantages such as a significant reduction in energy consumption of the processing plant.

Keywords: biotechnology, paper pulp, fungi, environment, energy consumption.

Fecha de recepción del original: 10/03/2010 | Fecha de evaluación del original: 21/07/2010

• Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE. Cabildo 15, Buenos Aires, Argentina, C.P. 1426 | e-mail: lsmonica@hotmail.com

•• Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE. Cabildo 15, Buenos Aires, Argentina, C.P. 1426 | e-mail: beatrizgarcia@live.com.ar

••• Escuela Superior Técnica, Secretaría de Investigaciones, IESE. Cabildo 15, Buenos Aires, Argentina, C.P. 1426 | e-mail: anto_mp15@hotmail.com

Resumen

La elaboración de pasta de celulosa para la industria del papel es una importante actividad productiva para distintas empresas en América Latina. En los últimos años este tipo de desarrollos ha sido fuertemente cuestionado en nuestra región a raíz de la instalación de dos grandes pasteras en territorio uruguayo, cuyo funcionamiento aún es resistido por un conjunto de grupos ambientalistas argentinos. El fundamento de las campañas de oposición a la instalación y funcionamiento de este tipo de emprendimientos es el alto grado de contaminación ambiental que deriva de las distintas etapas de preparación de la pasta de celulosa por los actuales procedimientos termoquímicos y mecánicos.

El procedimiento conocido como biopulping, al que podemos definir como la bioproducción de la pasta de celulosa gracias a la acción de distintos hongos de la putrefacción blanca de la madera, no sólo disminuye el uso de sustancias químicas y por ende la contaminación subsiguiente del medio ambiente, sino que tiene ventajas adicionales tales como una importante disminución en el consumo energético de la planta elaboradora.

Palabras Clave: biotecnología, pasta de papel, hongos, medio ambiente, consumo energético.

1. Introducción:

La elaboración de pasta de celulosa para la industria del papel es una importante actividad productiva para distintas empresas en América Latina. En los últimos años este tipo de desarrollos ha sido fuertemente cuestionado en nuestra región a raíz de la instalación de dos grandes pasteras en territorio uruguayo, cuyo funcionamiento aún es resistido por un conjunto de grupos ambientalistas argentinos. El fundamento de las campañas de oposición a la instalación y funcionamiento de este tipo de emprendimientos es el alto grado de contaminación ambiental que deriva de las distintas etapas de preparación de la pasta de celulosa por los actuales procedimientos termoquímicos y mecánicos.

El procedimiento conocido como biopulping, al que podemos definir como la bioproducción de la pasta de celulosa gracias a la acción de distintos hongos de la putrefacción blanca de la madera, no sólo disminuye el uso de sustancias químicas y por ende la contaminación subsiguiente del medio ambiente, sino que tiene ventajas adicionales tales como una importante disminución en el consumo energético de la planta elaboradora. El proceso se comenzó a investigar en 1986 por el Forest Products Laboratory (FPL), USDA Forest Service, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, sumándose a las investigaciones, las universidades de Wisconsin y Siracusa, con el aporte de una serie de compañías relacionadas con la actividad.

El presente estudio abarca los diferentes aspectos del problema:

- Reseña de las tecnologías actuales en la fabricación de la pasta de celulosa.
- Análisis de la contaminación ambiental que deriva de los procesos tradicionales de fabricación de papel.
- Descripción de la técnica de biopulping.
- Posibilidad de reconversión de las plantas.
- Hongos y enzimas participantes en el proceso.
- Ventajas y desventajas de la aplicación de biopulping.

En la segunda sección del presente trabajo se trata acerca del estado actual de la fabricación de pasta de celulosa y el estado del arte referido al tratamiento biológico de los chips de madera. La tercera sección está referida a posible contribución de esta tecnología a la citada industria. La cuarta sección contiene la conclusión del presente trabajo.

2. Estado del arte

2.1 Fabricación de pasta de celulosa

La fabricación del papel consta principalmente de dos etapas

1. Fabricación de pasta de celulosa.
2. Elaboración del papel.

Las materias primas para la elaboración de la pasta de celulosa son, en un 95% pulpa de madera y el 5 % restante trapos de lino o algodón que se reciclan.

En la elaboración de pasta a partir de madera (troncos) se siguen los siguientes pasos:

- Se descortezan los troncos en máquinas llamadas descortezadoras.
- Se los troza y tritura en máquinas troceadoras y trituradoras (molinos).
- La pasta resultante está compuesta de celulosa y lignina. Se trata la pasta en una etapa llamada blanqueo para eliminar la lignina.

En la pasta de papel se encuentran como componentes principales dos clases de fibras: fibras de celulosa y fibras de lignina.

La celulosa, un hidrato de carbono, es el constituyente más abundante de esta pasta. Está formada por unidades de glucosa, al igual que el almidón. La diferencia está en el tipo de unión química existente entre dichas unidades. Mientras que en el almidón existe un tipo de unión entre unidades de glucosa llamada α 1- 4 que puede ser degradada por nuestras enzimas digestivas a glucosa y ser asimilada nutricionalmente, en la celulosa las unidades de glucosa están unidas por enlaces β 1- 4 que no pueden ser degradados por las enzimas digestivas humanas. En los animales herbívoros es asimilada en forma indirecta en el tubo digestivo por acción de microorganismos naturalmente presentes en él.

La lignina (25 % de la madera) es un tipo de celulosa compuesta, combinada con moléculas de otras sustancias químicas llamadas pentosanos y compuestos químicos aromáticos ó cíclicos. Esta composición la vuelve más rígida y oscura, por lo que debe ser separada y/o blanqueada para poder obtener una pasta de papel de calidad adecuada.

Existen distintos tipos de procesos para el blanqueo de la pasta de celulosa, a saber:

2.1.1. Proceso TMP: papel termomecánico. Es el proceso más simple. Con él se fabrica papel de baja calidad, por ejemplo el papel para periódicos (diarios).

MADERA → SE DESCORTEZA → SE TRITURA → SE BLANQUEA CON AIRE U OXIGENO → SE FILTRA, SECA Y PROCESA EN LOS RODILLOS → PAPEL

Solo se pueden usar en este proceso maderas blandas como las de pino, no así eucaliptos que son maderas duras.

Ventaja de este proceso: se emplea toda la madera excepto la corteza.

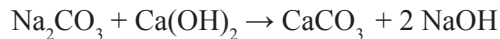
Desventaja: Debido a que se forman fibras cortas se obtiene un papel de propiedades mecánicas pobres y baja calidad de reciclado. Parte de la lignina permanece en el papel TMP, que aunque blanqueada, se vuelve rápidamente amarilla cuando se expone a la luz.

Esto no supone un problema para los periódicos que solo deben sobrevivir un día, pero no es útil para papel destinado a otros usos tales como: papel blanco para libros, papel resistente para cartón.

2.1.2 Proceso Kraft: Combina buena calidad con bajo costo. Pueden usarse tanto maderas blandas como duras (pinos ó eucaliptos).

MADERA → DESCORTEZAR → ASTILLAR → COCCIÓN EN SOSA CAUSTICA (NaOH) PARA SEPARAR LA LIGNINA

La pulpa obtenida hasta aquí es de gran resistencia debido a la calidad y longitud de sus fibras, pero aún es oscura, puede usarse así para la fabricación de cartón. En cuanto a la sosa cáustica se la obtiene por lo general mediante el método llamado caustificación, a partir de soda Solvay



Pero también se la puede obtener por electrólisis a partir de una salmuera (SOLUCIÓN ACUOSA DE SAL COMÚN CLORURO DE SODIO), este segundo método permite obtener en la misma planta el cloro, elemento controversial que se emplea en el blanqueo posterior de la pasta.



El proceso de electrólisis en si mismo, puede llevarse a cabo mediante dos tecnologías distintas : celdas de diafragma poroso y celda con cátodo de mercurio. Este segundo procedimiento resulta altamente contaminante por las filtraciones de mercurio al ambiente a través de los efluentes (aguas residuales) por ser un metal pesado con alto grado de toxicidad.

En esta etapa de cocción se usan también (para favorecer la disolución de la lignina) sulfato de sodio Na_2SO_4 y carbonato de calcio CaCO_3 , trabajando a 200°C y alta presión para formar la pulpa. Se generan en este proceso gases sulfhídricos, característicos por su mal olor. Liberados al ambiente, estos gases son contaminantes

atmosféricos, precursores de lluvia ácida (con consecuencias para estructuras de edificios, maquinarias y daños a la vegetación), y también a partir de ciertos niveles de concentración, tóxicos para el ser humano causando cefaleas, náuseas y trastornos hepáticos. Estos gases, por lo tanto, no deberían ser vertidos al ambiente sin tratamiento. En muchos casos se los incinera para su oxidación, lo que disminuye los sulfuros, se los filtra o trata por medios electrostáticos.

La segunda etapa del blanqueo en el método Kraft se puede llevar a efecto utilizando cloro Cl_2 , dióxido de cloro ClO_2 , ozono O_3 y/o agua oxigenada H_2O_2 .

BLANQUEO CON CLORO: Son necesarios de 30 a 80 kg de cloro para fabricar una tonelada de pasta Kraft. Este mecanismo proporciona el mejor resultado con respecto a la calidad del papel porque disuelve toda la lignina sin que se ataque a la celulosa y el resultado es un papel blanco brillante que mantiene su aspecto durante décadas. Se procede de la siguiente manera:

PULPA → ENJUAGUE CON AGUA → PASTA → SE FILTRA Y ESPESA QUITANDO AGUA → UNIDAD DE BLANQUEO

En la unidad de blanqueo se alternan fases de cloración con fases de lavados con sosa cáustica (extracción) para retirar lignina.

El cloro utilizado (en estado gaseoso) en un 90% se transforman en iones cloruro (no tóxicos), 0,5 % se queda en la pasta, y el 9,5% restante se convierte en compuestos químicos organoclorados (AOX : Halógenos orgánicos absorbibles) entre los que se incluyen las dioxinas. Una muy pequeña proporción de estos AOX queda en el papel y la gran parte de los mismos queda en los residuos que la planta debería reciclar, tratar o retener antes de volcar los efluentes al medio ambiente.

El uso de dióxido de cloro ClO_2 o de hipoclorito NaClO , permiten obtener una calidad de papel similar pero no modifican el problema de los AOX.

2.1.3. Método ECF: (parcialmente exento de cloro) Fue desarrollado por cooperación entre las fábricas de papel y distintas universidades, especialmente en Suecia y Finlandia. Este método propicia tiempos de cocción más prolongados y un preblanqueo con oxígeno seguido de una etapa más corta de blanqueo con dióxido de cloro. Con este método no aparecen niveles detectables de dioxina ni en la pulpa ni en el efluente y se redujo la cantidad de AOX de 5 kg/ ton de pulpa a 800g/ ton de pulpa. El uso del oxígeno constituye un paso delicado puesto que degrada a la celulosa, por lo que es necesario encontrar un punto de equilibrio para que el proceso sea rentable.

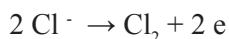
2.1.4. Método TCF: (totalmente exento de cloro) Es el método promocionado por Green Peace. Se usa agua oxigenada u ozono para el blanqueo. Este proceso

incrementa el brillo de la pulpa pero no separa lignina adicional, por lo que es necesario el uso de un 10% más de madera para la obtención de la misma cantidad de papel. La pasta obtenida está constituida por fibras más cortas lo cual limita las posibilidades de reciclado. No se detectan ni dioxinas ni AOX en el efluente, pero los niveles de dioxinas retenidos por el papel son más altos que en los métodos anteriores. Este método fue desarrollado por la empresa sueca SODRA, mayor productora europea de pasta de celulosa, y es el que aplica ENCE en su planta de Pontevedra.

Este método permite cerrar el ciclo de las aguas residuales de la planta, al no existir AOX en los vertidos.

Curiosamente se detectó que el papel procesado por el método TCF presenta un nivel de dioxinas residuales en el propio papel que es mayor al nivel de dioxinas residuales en el papel Kraft obtenido por otras tecnologías. La pregunta es ¿de dónde proviene el cloro?

En primer lugar se pensó que el cloro provenía de los tratamientos potabilizadores del agua utilizada en la planta, pero esta posibilidad se descartó porque el nivel de dioxinas presentes en el papel tiene una cantidad de cloro superior a la que aparece en el agua potable al inicio del proceso. Esta pregunta sigue sin respuesta y en investigación, pero actualmente se cree que el cloro se forma durante el proceso a partir de la sal NaCl presente ya sea como materia prima (en la soda cáustica) o como componente contaminante habitual. Esta sal sufriría un proceso de oxidación a cloro por reacción química de óxido reducción con el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en la etapa de blanqueo.



2.1.5. Papel Reciclado: Al fabricar pulpa se recurre, no solo a madera nueva, sino también al reciclado añadiendo a la pasta telas de lino y algodón y gran cantidad de papel viejo. El reciclado genera un 11% en masa de desechos contaminados con metales pesados que provienen ya sea de las tintas usadas anteriormente como del caolín utilizado para absorberlas.

2.2. Problemas medioambientales asociados a la producción de papel

1. El mayor problema ambiental derivado de esta industria es el gran consumo de madera, se deforestan bosques enteros, generalmente de pino o eucaliptos. Una gestión sostenible de este tipo de emprendimientos debe incluir la adecuada reforestación de las zonas con especies destinadas a este fin.

2. Liberación de CO₂ (gas con efecto invernadero) por quema de la hojarasca, ramas y otras partes del árbol que no se usan.

3. Elevado consumo de agua (hasta 60 m³/ ton de pasta)
4. Contaminación derivada de la etapa de cocción (ya detallada al explicar el proceso Kraft).
5. Vertidos. Presentan distintos tipos de contaminación:
 - Partículas sedimentables y en suspensión.
 - Sustancias que consumen oxígeno modificando DBO(demanda biológica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) en las aguas residuales.
 - Compuestos químicos organoclorados (principalmente del grupo de las dioxinas). Se conocen más de 11000 productos organoclorados diferentes. Las dioxinas y los furanos resultan ser los más tóxicos. Los organoclorados emitidos al aire ó al agua en los vertidos industriales tienen la propiedad de ser fotoactivos, reaccionando con la luz junto a otros agentes químicos o biológicos del medio ambiente, volviendo a generar más productos de este tipo. Presentan las siguientes características: .Son liposolubles por lo que tienden a acumularse en los tejidos grasos de los seres vivos. Según un informe de la EPA (Environment Policy Agency de los EEUU) sobre las dioxinas (9/94) estas producen cáncer en el ser humano. En dosis inferiores a las asociadas con cáncer ocasionan alteraciones en el sistema inmunitario, reproductor y endócrino. Los fetos y embriones de peces, aves, mamíferos y seres humanos son muy sensibles a sus efectos tóxicos. No existe un nivel seguro de exposición a las dioxinas. El mismo informe afirma que las principales fuentes de generación de dioxinas son, por orden de importancia la incineración de residuos y las fábricas de pasta de papel. Las dioxinas son muy estables. Pueden permanecer en aire, agua y suelo durante cientos de años, resistiendo tanto a la degradación física como química. Por no existir estos compuestos en la naturaleza los seres vivos no han desarrollado mecanismos para la biodegradación metabólica de estos compuestos. Por lo tanto resisten a la degradación biológica.
 - Colorantes.
 - Compuestos de la madera (ácidos de la resina y ácidos grasos insaturados como oleico, linoleico, palmitoleico, etc)
 - Nutrientes (nitrógeno y fósforo) que conducen a la eutrofización de los cursos de agua.
 - Modificación del pH.
 - Aumento de la temperatura de los cursos de agua.
6. Emisiones atmosféricas: SO₂, malos olores por sulfuros, partículas de hollín, CO, compuestos orgánicos volátiles, compuestos clorados, óxidos de nitrógeno (NO_x).

2.3. Biopulping

La madera contiene celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es la materia prima para la producción del papel debido a que su larga fibra puede dispersarse con facilidad en el agua y tiene la capacidad de formar una trama cerrada al secarse. La hemicelulosa tiene propiedades similares, pero su fibra es mucho más corta. La lignina es una molécula grande que forma enlaces cruzados con la hemicelulosa y le da a la madera su dureza y color oscuro. La ruptura de los enlaces con la lignina y su posterior degradación hace posible extraer celulosa y hemicelulosa limpias de la madera. Tradicionalmente esto se logra mediante el tratamiento de los chips de madera con hidróxido de sodio y sulfato de sodio para la degradación de los enlaces de lignina mientras que se recurre al blanqueo por cloro para eliminar el color oscuro de este compuesto.

Estos compuestos químicos son ambientalmente peligrosos y perjudiciales para la salud. Los productos derivados de este tratamiento tienen olor desagradable, son cancerígenos, tóxicos y contaminantes. Por este motivo, las investigaciones vinculadas a la industria de la madera estudian la remoción de la lignina mediante el biotratamiento. En la industria tradicional, uno de los costos más elevados deriva del uso de sustancias químicas y del gran gasto de energía eléctrica para preparar una pasta de celulosa exenta de lignina y con baja cantidad de hemicelulosa. En un proceso alternativo, se pueden utilizar diversos microorganismos que actúan como fuente potencial de enzimas capaces de degradar estos enlaces complejos lignina-hemicelulosa.

Biopulping es el tratamiento de los materiales lignocelulósicos con los hongos filamentosos que participan en los procesos naturales de putrefacción de la madera, conocida como putrefacción blanca. Este procedimiento biotecnológico se realiza previo al tratamiento termo-mecánico de los chips de madera para ser transformados en pulpa y más adelante en papel. La aplicación del procedimiento de biopulping, disminuye ó elimina la necesidad del uso de químicos alcalinos en la etapa de cocción y de cloro en la etapa de blanqueo.

Los hongos modifican enzimáticamente la lignina de las paredes celulares de la madera, lo cual tiene el efecto de suavizar o tiernizar las astillas de madera trituradas (chips). Este ablandamiento de los materiales lignocelulósicos, reduce substancialmente la energía eléctrica necesaria para la obtención mecánica de la pulpa de celulosa y permite obtener mejoras en la fuerza y calidad del papel obtenido.

El biopulping es un pretratamiento natural, que carece de consecuencias adversas para el medio ambiente.

En el proceso de tratamiento fúngico la madera se descorteza y tritura para la obtención de los chips, acorde al proceso de producción normal. Luego los chips

son tratados con vapor para reducir la tasa de microorganismos naturales de la madera y posteriormente enfriados con aire a presión e inoculados con los hongos específicos del proceso. Para la descontaminación de los chips es suficiente con el uso de vapor a baja presión. Los chips inoculados se almacenan de una a cuatro semanas para que actúen las enzimas de los hongos. Estos chips se ventilan con aire filtrado (para evitar contaminación) y humidificado (para favorecer el desarrollo fúngico). La ventilación tiene como finalidad el mantenimiento de una temperatura adecuada al crecimiento de los hongos.

3. Contribución

3.1. Proceso y reconversión de plantas

Las instalaciones y etapas del proceso de biopulping pueden fácilmente insertas en una planta tradicional de fabricación de pulpa de celulosa. El esquema desarrollado a continuación nos muestra cómo se inserta el proceso de tratamiento biológico en relación con las instalaciones preexistentes.

MADERA → RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE → MÁQUINA DESCORTEZADORA → TRITURADORA → DECONTAMINACIÓN POR VAPOR → ENFRIAMIENTO DE LOS CHIPS (POR AIRE FILTRADO) → INOCULACIÓN DE LOS HONGOS → ALMACENAJE DE LOS CHIPS INOCULADOS (VENTILADOS Y HUMIDIFICADOS) → OBTENCIÓN DE CHIPS TIERNIZADOS → FABRICACIÓN DE PASTA DE CELULOSA POR PROCESOS TRADICIONALES

El material se recoge, transporta a la planta elaboradora, descorteza y astilla, siendo transformado en chips. Hasta aquí, se trata de etapas habituales en este tipo de industria. A continuación los chips se someten a la descontaminación por vapor. Se debe mantener una alta temperatura (por aplicación del vapor) el tiempo suficiente como para eliminar la microflora autóctona de la superficie de los chips y luego enfriar para poder inocular las cepas de hongos. En plantas a gran escala los procesos de descontaminación e inoculación se pueden realizar por procedimientos continuos, mediante la utilización de un sistema basado en dos transportadores de tornillo, que trasladan los chips al mismo tiempo que funcionan como cámaras de tratamiento. En el primero de estos transportadores a tornillo se inyecta el vapor, allí se calienta y descontamina la superficie de los chips. El exceso de vapor es ventilado hacia afuera mediante ductos adecuados. Entre ambos transportadores a tornillo hay una tolva y un depósito vertical que actúa como buffer. Por allí caen los chips. De la parte inferior de este depósito sale el segundo transportador a tornillo

en cuya primera sección los chips son enfriados con aire a presión filtrado y más adelante, hacia el final de la misma cámara se inocula la suspensión que contiene los hongos, y se agrega agua y maíz macerado ó remojado, lo cual se mezcla con los chips, gracias a la acción giratoria del tornillo.

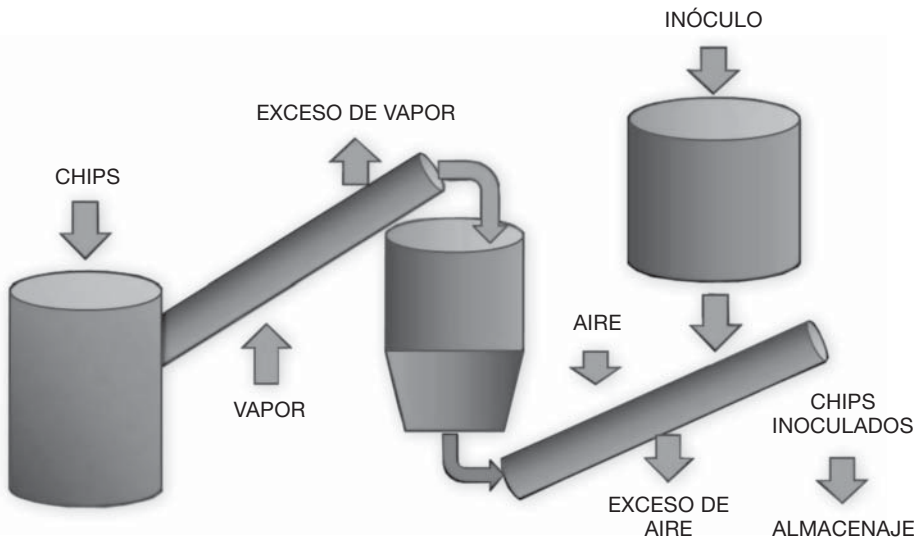


Fig. 1 | Sistema de tratamiento continuo para descontaminar e inocular los chips de madera

A continuación los chips se almacenan en forma de pilas ó montones, que puedan ser ventilados como para mantener la temperatura y humedad adecuadas para el crecimiento de los hongos y subsecuente biopulping. El tiempo de retención para este proceso es de una a cuatro semanas, variación que depende del tipo de madera empleada y de las cepas de hongos utilizadas. Este almacenamiento se debe realizar en silos, depósitos ó almacenes cerrados y no al aire libre. El motivo de esta recomendación es porque la acción de los hongos sobre los chips se ve seriamente afectada por las variaciones de temperatura entre el día y la noche que implica un almacenamiento al aire libre. La temperatura ideal para este almacenamiento ronda los 27°C. Una vez finalizado el período de almacenamiento, los chips tratados biológicamente siguen la vía habitual de tratamiento termo-mecánico para su transformación en pasta de celulosa.

Si bien la adaptación descrita muestra un concepto básico del proceso, distintas variaciones pueden realizarse fácilmente. Por ejemplo, aquellas plantas que no inician su proceso a partir de madera en troncos, sino que compran los chips ya elaborados, iniciarán su operación en la etapa de descontaminación.

Las etapas de descontaminación, enfriado e inoculación pueden realizarse en transportadores de tornillo, como hemos descrito antes, o en cintas transportadoras que atraviesan las distintas cámaras. Si bien las instalaciones descritas pueden encontrarse al aire libre, es recomendable su instalación bajo techo ó aún mejor, en galpones cerrados.

3.2. Hongos y enzimas participantes del proceso

Los hongos de la putrefacción blanca de la madera producen enzimas oxidativas extracelulares que provocan la oxidación de la lignina.

En general, estos hongos de la podredumbre blanca son basidiomicetos como *Trametes versicolor*, *Pleurotus floridae* y *Phanerochaete chrysosporium*, comunes en bosques de pinos y encinos. Su acción sobre la lignina le da a la madera un aspecto blanquecino, de allí su nombre. La lignina es un compuesto polifenólico heterogéneo cuya degradación oxidativa por parte de los hongos es parte del ciclo natural del carbono en bosques y otros ecosistemas.

Se han llevado a cabo distintas investigaciones microbiológicas para identificar cuáles son las especies con mayor habilidad para la decoloración y remoción de la lignina, con un mínimo efecto de degradación de la celulosa. Se conocen distintas especies de hongos que tienen estas propiedades: *Pleurotus* para el tratamiento de la paja de cereales y *Phanerochaete chrysosporium*, *P. magnolia*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Aspergillus* y *Penicillium* para el tratamiento de chips de madera de eucaliptos. La especie *Ceriporiopsis subvermispora* permite obtener un papel más brillante aunque afecta levemente el contenido de celulosa de la pulpa disuelta.

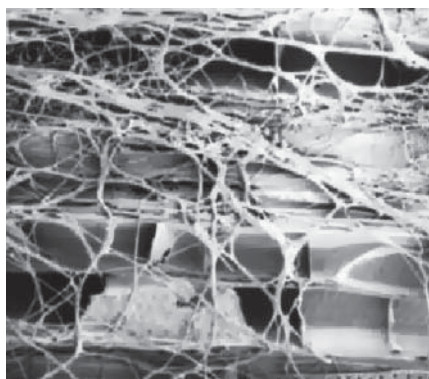


Fig. 2 | Filamentos de hongos creciendo sobre la madera

Las enzimas que participan en la degradación oxidativa de la lignina y la ruptura de los enlaces cruzados con la hemicelulosa son, principalmente tres: lignina peroxidasa, LiP, que oxida compuestos aromáticos no fenólicos, manganeso peroxidasa, MnP, que oxida componentes fenólicos de la lignina y la lacasa, Lac, una fenol oxidasa que oxida anillos presentes en la lignina. Otras enzimas indirectamente asociadas a la mineralización de la lignina son la glioxal oxidasa y la superóxido dismutasa. Existen enzimas fúngicas que funcionan como enlace entre las rutas de mineralización de la lignocelulosa, son: la glucosa oxidasa, la aril alcohol oxidasa, la celobiosa quinona oxidoreductasa y la celobiosa deshidrogenasa.

De las distintas materias primas que se utilizan para producir los chips, se encuentra que los más difíciles de tratar por biodegradación son los chips de eucalipto, por presentar una resistencia levemente más alta al ataque de los hongos que otros que otros tipos de maderas.

3.3. Ventajas y desventajas de la aplicación de biopulping

El tratamiento biológico de los chips de madera reduce notablemente la utilización de reactivos químicos en la preparación de la pasta de celulosa, en especial aquellos que participan en la etapa de cocción (hidróxido de sodio y sulfato de sodio) y en la etapa de blanqueo (cloro, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro). Esto no solo disminuye el costo de compra de estos reactivos sino que reduce notablemente los costos ambientales del proceso derivados de estas operaciones, tales como la producción de dioxinas y otros contaminantes, malos olores y productos tóxicos y cancerígenos. Ésta es la principal ventaja desde el punto de vista ambiental.

El uso de chips tratados biológicamente disminuye el gasto de energía eléctrica del proceso de la fabricación de pasta de celulosa, dado que se facilita su posterior tratamiento termo-mecánico. La proyección de los cálculos de escala experimental a escala industrial indica un ahorro de entre el 26 y el 31% de la energía eléctrica necesaria, siendo ésta una de las principales ventajas que este método presenta a nivel económico.

El papel fabricado con pasta que ha sido tratada bajo este proceso presenta mejor índice de resistencia a la tensión que el papel kraft, sin embargo, se nota un oscurecimiento en el color del papel. Este oscurecimiento se evita con un breve tratamiento de blanqueo ó mediante el uso de una mezcla al 50% de pasta biotratada y pasta kraft.

Entre las desventajas del proceso, podemos citar que la necesidad de almacenar los chips durante varias semanas para su biotratamiento, incrementa las necesidades iniciales de materia prima en planta, hasta que el ciclo productivo se establece. Por

otra parte, el proceso fúngico ocurre mejor cuando los chips se tratan en depósitos que al aire libre, por ser los hongos muy sensibles a las variaciones exteriores de temperatura. Todo esto hace necesaria una inversión en la construcción de galpones adecuados para las operaciones, así como la inversión en los dispositivos continuos de descontaminación e inoculación de los chips. Sin embargo, las inversiones de reconversión de la planta se recuperan durante su operación, mediante el ahorro de energía.

4. Conclusión

El proceso de biopulping es tecnológicamente posible y económicamente beneficioso en un plazo mediano y largo. El ahorro de energía es la clave de la ecuación costo-beneficio del proceso.

También es necesario tener en cuenta el ahorro en costos ambientales que resulta de la aplicación de esta biotecnología. Sin embargo, la puesta en marcha definitiva de este proceso en plantas de papel kraft a gran escala, requiere aún de mayor investigación.

Agradecimientos

Queremos agradecer a las autoridades de la Escuela Superior Técnica, y muy especialmente, a quienes dirigen la Secretaría de Investigaciones, por la confianza y apoyo brindados en todo momento a nuestro proyecto de investigación “Estudio de procesos biotecnológicos aplicados a la industria química”.

Referencias

Akhtar, M. Scott, G. Lentz, M. Horn, E. Swaney, R. Kirk, T.K. “Commercialization of biopulping for mechanical pulping”. 7a Conferencia en Biotecnología en la Industria de la pulpa y del papel. Vancouver, Canadá. 1998.

Ken Hammel. Dan Cullen. Gary Myers. Gary Scott. Massod Akhtar. “Decay processes and bioprocessing. Biopulping: Technology learned from nature that gives back to nature”. Techkine. United States Department of Agriculture. 1998.

Sánchez Yáñez, J.M., García Hernández, D. Sosa, R. Aguirre, C. “Degradación de aromáticos por hongos de la podredumbre blanca”. 1997.

Shukla, U.N. Rai., S.V. “Biopulping and Biobleaching: An Energy and environment. Saving Technology for Indian Pulp and Paper Industry”. Subramanyam. Environews. Newsletter of ISEB. India. 2004.

García Torres, A.M. Torres Sáe, R.G. “Producción de enzimas lignolíticas por basidiomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido”. Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 5.Nº 1. 2003.

López Sardi, E.M. “Fabricación de Pasta de Celulosa, aspectos técnicos y contaminación ambiental”. Ciencia y Tecnología Nº 6. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo. 2007.

