

Biopulpaje Kraft: Proceso Clave

Por Javier González Molina¹
David Peñaloza Catalán²

El sistema biotecnológico llamado pulpaje Kraft se proyecta como determinante en el desarrollo futuro de la industria de la celulosa.

Las crecientes demandas de diferentes tipos de bienes hacen que las presiones de la sociedad sean cada vez más severas sobre los productores. La industria de celulosa y papel ha hecho frente a estas necesidades modificando sus procesos de pulpaje, secuencias de blanqueo y tratamiento de efluentes, entre otros.

La biotecnología, por tanto, ha recibido una atención especial durante las últimas dos décadas a causa de estas preocupaciones. A través de reacciones específicas, se provee de procesos ambientalmente más limpios, con ahorro de energía y donde métodos no biológicos son impracticables. Consecuentemente, el uso de microorganismos y sus enzimas está ganando adeptos a nivel mundial. La única restricción, era hasta hace poco tiempo, su aplicabilidad económica y tecnológica. Sin embargo, estas restricciones son ampliamente superables.

El conjunto de compuestos lignocelulósicos forestales sintetizan a través del proceso de la fotosíntesis cerca del 60% de toda la biomasa que se produce a nivel del planeta, con alrededor de 155 billones de ton. por año. La lignina en coníferas tiene un mayor índice que en latifoliadas (28% comparado con 21%, en promedio). Por el contrario, las latifoliadas son más ricas en hemicelulosa.



Trozas de pino inoculadas con hongos de pudrición blanca.

¹ Profesor Titular, Departamento de Ciencia e Ingeniería de la Madera, Universidad de Chile, Casilla 9206. Fono: 56-2-6785906. Email: jagonzal@uchile.cl
² Ingeniero Forestal, Magister en Economía Aplicada, Universidad de Chile. E-mail: dpenaloz@ing.uchile.cl

La lignina corresponde a un compuesto altamente heterogéneo. Tiene propiedades químicas similares, pero diferentes pesos moleculares. El peso molecular de la lignina puede ser de 100 kDa o más. Una parte considerable de la actividad fotosintética del árbol está dedicada a convertir CO₂ en lignina. Principalmente es fenil-propano, incluyendo enlaces alquil-aril, alquil-alquil y aril-aril-eter. Su conformación es amorfa, es insoluble en agua y dificulta la penetración de microorganismos.

Existen distintos métodos para obtener celulosa. El principal de ellos se llama pulpaje Kraft. Este proceso, en lo sustancial, consiste en el tratamiento de las astillas con compuestos químicos para degradar y extraer la lignina presente en ellas (NaOH y Na₂S₂).

La mezcla de astillas es transportada hacia el cilindro de impregnación, en donde son saturadas con el licor de cocción, se aumenta la temperatura y la presión en forma progresiva hasta alcanzar una temperatura entre los 100-115 °C, con el fin de flexibilizar y comenzar a solubilizar la lignina. Luego, se mantienen las condiciones durante un periodo de tiempo determinado para que se realice la "cocción" (subida a 170 °C) de la mezcla astillas/reactivos. Posteriormente, se pasa a una etapa de soplado en donde se produce una brusca baja de presión, haciendo explotar las astillas, para obtener la celulosa cruda. En la mayor parte de los casos la pulpa cruda se blanquea, en etapas posteriores de tratamiento con O₂ y agentes clorados, soda y peróxido. Después, la pulpa es deshidratada y comercializada para en el paso siguiente producir los distintos tipos de papeles que se demandan en todo el globo.

En la naturaleza hay hongos que atacan a la madera. Entre ellos, se encuentran los llamados hongos de pudrición blanca, que degradan selectivamente la lignina (elemento cementante de las fibras). Los hongos son los microorganismos más comunes en el deterioro de la madera. Los más conocidos son los Ascomycetes, los Deuteromycetes y los Basidiomycetes. En madera muerta pueden causar pudrición, pu-

Muestras en escalamiento de las cepas madres para ser aplicadas en trozas, ya como producto final.



drición leve, pudrición café o blanca. El ataque se caracteriza por: 1) migración a través de la pared secundaria, 2) provocar erosiones extensas en toda la pared y 3) migración a través de lamela media. Por lo general, las latifoliadas son más biodegradables que las coníferas.

Los hongos de pudrición blanca pueden, bajo ciertas condiciones, atacar todos los componentes de la madera. Los más estudiados son: *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Dichomitus squalens*, *Phlebia radiata*, *Heterobasidium annosum*, *Phellinus pini*, *Cyathus atercoreus*, *Pleurotus ostreatus*,

Ceriporiopsis subvermispora, *Polyporus anceps* y *Ustulina vulgaris*. La mayor parte corresponde al grupo de Basidiomycetes, salvo la última clasificada como Ascomycete.

Por su parte, el biopulpaje kraft consiste en un tratamiento previo de las trozas destinadas a pulpaje con estos hongos. De esta forma, el proceso de pulpaje se hace más económico y más amigable al medio ambiente, toda vez que la acción de los hongos en cuestión disminuye el contenido de lignina inicial, reduciendo la carga de químicos utilizados en la producción de celulosa kraft (Universidad de Chile, proyectos



FONDEF D97I-2032, DOOT-2057 y DO2I-1086). En estos casos, se condicionan las variables, para atacar exclusiva o preferentemente la lignina.

Los hongos son los microorganismos más comunes en el ataque a la madera. En general, los hongos biodegradadores consumen tanto polisacáridos como lignina. La habilidad de los hongos de pudrición blanca o hongos deslignificadores está en que consumen de preferencia lignina. Esta característica los convierte en elementos altamente deseables en las industrias donde la lignina u otros compuestos fenólicos deben removerse o modificarse. Altamente se-

lectivos frente a la lignina son: *Phlebia tremelosa*, *Ceriporiopsis subvermispura* y *Phellinus pini*.

El mecanismo de acción de los hongos en la madera tiene su génesis no sólo en una raíz química. El proceso realmente elaborado por los hongos responde a interpretaciones físicas, físico-químicas, químicas y bioquímicas. El hongo, al establecerse en la madera, sea al estado de rollo o astilla, desarrolla hifas que penetran las fibras, a través de las paredes, preferentemente por las punteaduras y lúmenes celulares, produciendo una transformación bioquímica con proyección física, sobre la base de perforaciones

que facilitarían la penetración de licores de cocción, en el proceso de pulpaje.

• **Tratamiento de la Madera para Biopulpaje.**- El biopulpaje kraft no modifica mayormente el proceso actual, debido a que las trozas son tratadas previamente a la entrada al digestor (lugar donde ocurre la desintegración de las astillas, quedando sólo fibras individuales, para conformar lo que conocemos como celulosa cruda). Por lo tanto, la aplicación del biopulpaje a nivel industrial no implica costos de inversión en nueva tecnología o modificación de la existente. Sólo se incrementa el costo derivado de la aplicación de inóculo y el costo operacional. Pero en la medida de un mayor control y ordenamiento de inventarios, con los beneficios asociados, se tiene que éstos son cubiertos ampliamente.

Para obtener el efecto deseado, las trozas acopiadas en cancha son tratadas con inóculos de hongos de pudrición blanca. Idealmente con la aplicación debe quedar cubierta alrededor del 40% de la superficie de las trozas. Así se consigue un ataque más rápido y más homogéneo. La aplicación del inóculo se realiza en la proporción de 0,06% sobre la base de peso seco de la madera. En términos prácticos, ésta es de 2,52 kgs. de inóculo por m³ de madera, o lo que es lo mismo 3,84 kgs. por metro ruma.

Luego de la aplicación del inóculo, es preciso mantener la madera en cancha por un periodo de 50 días (*Eucalyptus*) a 80 (*Pino radiata*). Pasado este tiempo, las trozas se encuentran en condiciones de ser astilladas y seguidamente entrar al proceso de cocción. El costo de tratamiento puede llegar a ser de alrededor de US\$ 29/ton.

Los procesos desarrollados hasta la fecha (1997-2005) permiten establecer que especies derivadas tanto de coníferas como de latifoliadas son aptas para la aplicación de esta tecnología denominada biopulpaje. Se ha observado que, además de la progresión física, los hongos de pudrición blanca, a través de sus enzimas, modifican las fases de ligninas asociadas a las holocelulosas (principalmente hemicelulosa).

Asimismo, los cambios físicos derivan en una mejor impregnación de las astillas durante la fase correspondiente en el digestor.

• **Antecedentes sobre Biopulpaje.-** Los alcances que tiene la aplicación de hongos de pudrición blanca en pulpaje Kraft, se pueden resumir en: una optimización del proceso de cocción y blanqueo, provocando una mayor producción de celulosa por unidad de tiempo; una cocción más efectiva, desde el punto de vista de la acción de los químicos en la deslignificación de la madera, gracias a la modificación química y física de la lamela media y las paredes celulares, que permiten una mejor penetración de los agentes de cocción; el proceso se vuelve más económico, debido a que la cantidad de sulfuro, soda y agentes blanqueantes disminuye. Derivado de lo anterior, y consecuentemente, las emisiones de contaminantes, tanto gaseosos como líquidos, se ven reducidas.

Hasta la fecha, los resultados más prometedores se centran en ganancias de rendimiento en el pulpaje de alrededor de 2.8%, baja en el Índice Kappa de 12% y aumento en las viscosidades de las pulpas de 18% (*Pino radiata*). Este efecto es consecuencia de una actividad más rápida de los reactivos sobre la lignina y, de manera conjunta, una menor actividad sobre la holocelulosa, principalmente la hemicelulosa,

al inicio del proceso de pulpaje.

• **Propiedades de Papeles Derivados.-** Además de los beneficios en las pulpas, se logran otros relacionados con las propiedades de los papeles producidos con biopulpas, ya que se obtiene un mejor TEA (28%), mejor Rasgado (24%) y mejores propiedades ópticas (blancura aumenta en 8%). En ensayos preliminares se ha constatado que las ganancias y beneficios en el caso de mezclas de *Eucalyptus* son aún mayores. Con lo anterior, los beneficios adicionales de la aplicación de la tecnología en una planta integrada hacia adelante se verían aumentados en, a lo menos, 12 US\$/ton.

• **Consideraciones Económico-Ambientales.-** Considerando los bajos costos de producción, en comparación con productores de otras latitudes, la aplicación de hongos de pudrición blanca podría ayudar a posicionar a la industria nacional como líder indiscutido en costos y darle mayor estabilidad al negocio.

Un aspecto relevante a la hora de evaluar la utilización del biopulpaje tiene relación con los beneficios ambientales asociados. En primer término, estos hongos son nativos. Es decir, no se están introduciendo nuevas especies, con lo que se resguarda el equilibrio ecológico, disminuyendo en forma paralela las emisiones de contaminantes, debido principalmente a

que se utilizan menos reactivos químicos en el proceso. En resumen, la adopción del biopulpaje se vislumbra como una alternativa de producción más limpia y de mayor productividad, puntos centrales en la competitividad actual y futura de esta industria.

La disminución en el consumo de químicos de blanqueo deriva en menores descargas de éstos como efluentes líquidos, lo que -por una parte- generaría ahorros de costos en tratamientos de las descargas y -por otro lado- reduciría en parte la presión ejercida respecto a las tasas de contaminación provocada por esta industria.

En relación al beneficio neto que podría obtener una planta de celulosa con la aplicación del biopulpaje, se ha calculado que, a lo menos, los ingresos netos serían de US\$ 8,5 por tonelada de celulosa producida.

En suma, el biopulpaje es una innovación que reportaría múltiples beneficios a la industria, dado que presenta ventajas económicas y ambientales. Además, gracias a la inminente puesta en marcha de los bonos transables, insertos en el mecanismo de producción limpia, el biopulpaje se muestra como una alternativa bastante atractiva para la industria. ■■

Hongos Deslignificadores

Clasificación de Hongos WDF, según producción de enzimas

Productores de LiP, MnP y Lacasa:

Coriolus versicolor, Phlebia radiata, Pleurotus ostreatus, Pleurotus saio-coju

Productores de LiP y Lacasa:

Pleurotus florido, Poliporus brumalis, Phlebia tremeloso

Productores de LiP y MnP:

Coriolus pruinosum, Phamerochaete chrysosporium

Productores de MnP y Lacasa:

Ceriporiopsis subvermispora, Lentinus edodes, Rigidoporus lignosus

Productores de Lacasa:

Pycnoporus cinnabarinus

Nuevas oxidasas:

Pleurotus adusto, Pleurotus ostreatus, Pleurotus eryngii, Trametes versicolor, Pleurotus saio-caja