

La biotecnología en la fabricación del papel

Historia del papel

El papel es un producto de gran importancia en la vida del hombre. Ha sido el material más ampliamente utilizado para dibujar y escribir, almacenar conocimiento e información, y transmitir diferentes expresiones de la cultura. Hoy tiene usos múltiples como rollos de cocina, pañuelos, papel higiénico, pañales y material de embalaje. La industria también los utiliza para aislamientos y filtros, entre otras aplicaciones.

La obtención de las primeras hojas de fibra rudimentarias que podían ser empleadas para la escritura, fueron confeccionadas por los egipcios en el año 3000 A.C. a partir de una planta que crecía a la orilla del río Nilo: el papiro.

La invención del papel que utilizamos actualmente pertenece a los chinos, que lo fabricaban a partir de los desechos de seda y cáñamo, e incluso del algodón, alrededor del año 105 A.C. El método consistía en mezclar diferentes tipos de fibras (corteza de cáñamo y trapos) con agua, triturar la mezcla hasta conseguir



la separación completa de las fibras, disponerlas sobre un molde poroso y finalmente prensarlas para separar el agua y conseguir la unión de las fibras.

En el siglo III D.C., el secreto de la preparación del papel se difundió desde China a otros territorios vecinos (Corea, Vietnam, Japón) y luego fue avanzando hacia occidente, llegando a Europa en el siglo VIII.

En el siglo XIV, el uso masivo de la camisa permitió que hubiera suficiente trazo disponible para fabricar papel lo cual, junto a la invención de la imprenta, permitió la producción de papel a precios económicos, y con ello, el surgimiento del libro como un producto de mercado accesible.

En la actualidad, el papel sigue conservando un rol trascendental en la vida del hombre, elaborándose no de trapos viejos o algodón sino de una gran variedad de fibras vegetales. Los actuales campos de investigación en la fabricación del papel tienen como objetivo mejorar los procesos ya existentes y descubrir nuevos procesos para utilizar mayor diversidad de materias primas.

La estructura de la madera

Las fibras vegetales requeridas para la producción de papel están compuestas por largas cadenas de un polímero natural llamado **celulosa**. Este polímero está formado por unidades de **celobiosa**, la cual a su vez está constituida por dos unidades de un polisacárido denominado **glucosa**.

La fórmula molecular de la celulosa es: $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde n es el número de unidades que forman la cadena, también llamado grado de polimerización (GP).

La mayoría de las fibras utilizadas en la fabricación de papel tienen un GP de

entre 600 a 1500. En el interior de la madera, las fibras celulósicas se disponen en forma ordenada estableciendo regiones cristalinas, las cuales se unen entre sí por medio de fibras sobresalientes, creando zonas amorfas de unión (Ver Figura 1).

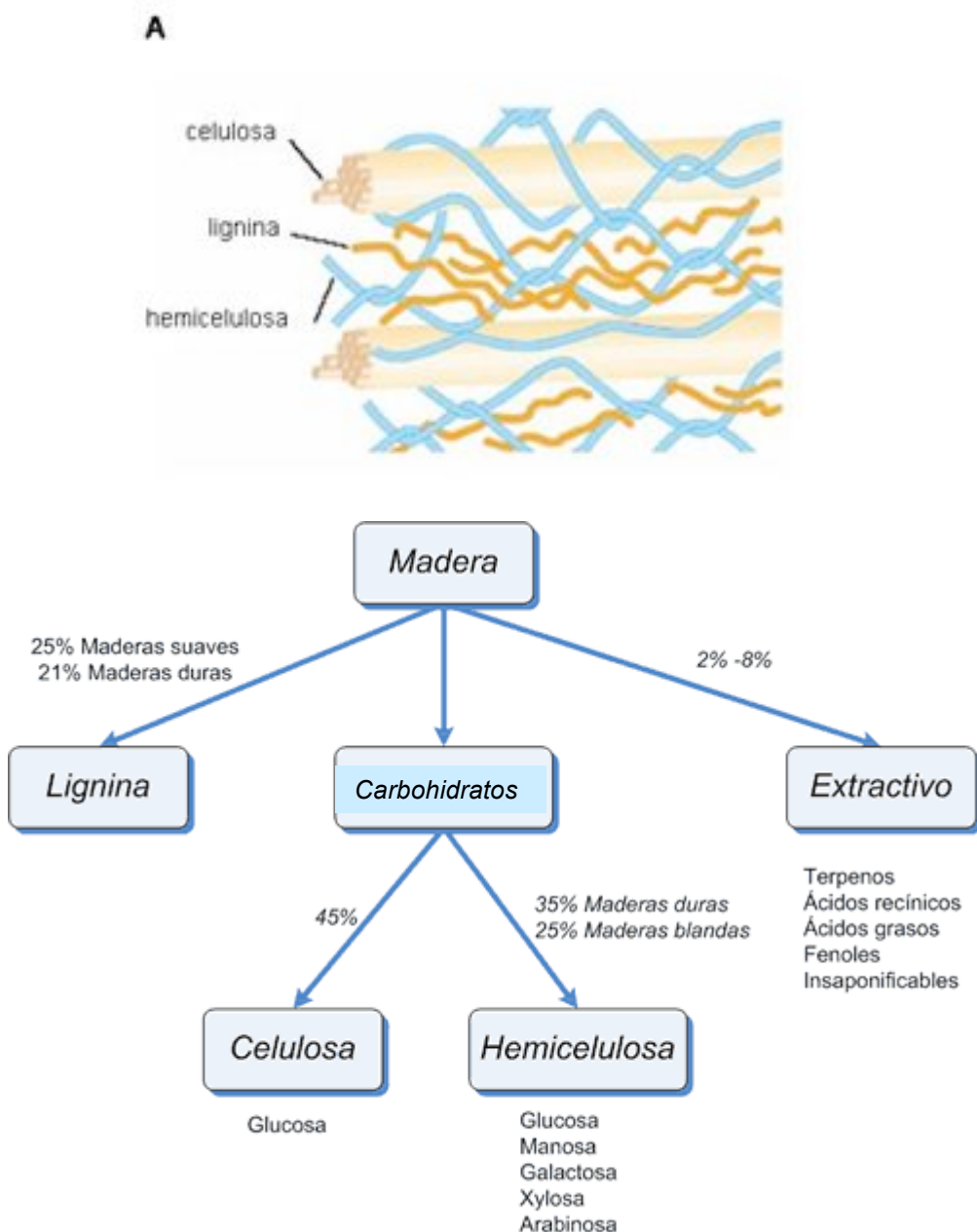


Figura 1: Composición química de la madera. (A) Estructura espacial de la madera mostrando esquemáticamente, cómo se encuentran unidos entre sí sus 3 componentes principales. (B) Diagrama que muestra los componentes químicos y el porcentaje aproximado de cada uno. Fuente: <http://www.textoscientificos.com/papel/estructura-madera>

Además, la madera posee otro tipo de fibras compuestas por polisacáridos denominadas **hemicelulosa** (glucosa, manosa, galactosa, xylosa y arabinosa,

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



dependiendo de la planta considerada), cuya longitud es menor a la de la celulosa.

Las fibras de celulosa y de hemicelulosa están unidas entre sí por una sustancia polimérica de estructura amorfa denominada **lignina**, la cual da consistencia y rigidez a la planta. La lignina forma una capa externa alrededor de cada fibra, y se unen entre sí por medio de enlaces covalentes y de puente de hidrógeno. La estructura química de la lignina es complicada, pero básicamente es la unión de monómeros de fenilpropano. Las uniones entre los monómeros deben ser quebradas para separar las fibras celulósicas en la obtención de la pulpa para papel.

Además de la celulosa, hemicelulosa y lignina, existen en las maderas pequeñas cantidades de otros materiales (terpenos, resinas, fenoles ácidos grasos), que son fácilmente removibles durante el procesamiento de la pasta para papel, y su porcentaje varía según el tipo de madera, entre 2 y 8%.

La fibra celulósica tiene propiedades que la hacen el material ideal para la confección del papel:

- ü Gran resistencia mecánica a la tensión
- ü Buena flexibilidad
- ü Resistencia a la deformación plástica
- ü Insolubilidad en agua de la fibra
- ü Hidrofilia
- ü Amplio rango de dimensiones
- ü Facilidad para enlazarse
- ü Facilidad para absorber aditivos modificantes
- ü Estabilidad químicamente
- ü Relativamente incolora

La fabricación del papel

La pulpa de madera proviene principalmente de dos árboles: los pinos, de buena calidad de fibra debido a su largo, y de eucaliptos, una fibra barata y resistente. Para producir el papel a través del procesamiento de la madera (u otras materias vegetales) se deben obtener las fibras que los componen, y para ello es necesario conocer qué tipo de fibra contiene cada tipo de árbol y cómo está dispuesta en su interior.

Para la obtención de una buena pulpa es necesario separar eficientemente las fibras de celulosa de la lignina, sin modificar las características iniciales de la celulosa. Parte del proceso básico para hacer celulosa y papel consiste en la eliminación de la lignina. Este compuesto, constituyente de la madera y que actúa como “cemento” en su estructura, es el principal obstáculo para poder obtener celulosa y papel de buena calidad.

El proceso de separación de la celulosa, hemicelulosa y lignina, se basa en el comportamiento diferencial de estos tres componentes principales de la madera ante agentes químicos y procesos mecánicos:

Componente	Características
Celulosa	Altamente hidrofílica. Al ponerse en contacto con el agua, sus fibras se hidratan y se hinchan especialmente en las zonas amorfas, mejorando su flexibilidad y la capacidad de unirse a fibras adyacentes. Debido a esto, se intenta destruir las estructuras cristalinas de la celulosa (menos hidrofílicas), generalmente por procedimientos mecánicos.
Hemicelulosa	Fácilmente soluble en una gran cantidad de disolventes debido a que su estructura no le confiere características hidrofílicas o hidrófobas muy marcadas. Una gran proporción de las hemicelulosas son extraídas durante el procesamiento de la pulpa.
Lignina	Es hidrofóbico debido a que posee compuestos aromáticos. Para disolver a la lignina en medio acuoso se le introduce, mediante reacciones químicas, grupos sustituyentes polares (por ejemplo, compuestos con azufre o sulfonados) los cuales son capaces de estabilizar las disoluciones de lignina en agua, haciéndola soluble.

Existen distintos tipos de procedimientos para la fabricación de pulpa para papel, cada uno de los cuales presentan ventajas y desventajas que deben ser evaluadas, teniendo en cuenta las características deseadas en el producto final: resistencia mecánica del papel a la rotura, rasgado, rozamiento y plegado; rugosidad; blancura y deterioro, entre otras. También se tiene en cuenta el costo unitario del proceso, impacto medioambiental de la producción y tipo de materia prima disponible.

Como primer paso, la madera es sometida a ciertos procesos que tienen como objetivo retirar impurezas que puedan perjudicar el proceso de *deslignificación* (separación de las fibras celulósicas):

- ü **Lavado:** se realiza mediante aspersion de agua a presión para retirar cualquier partícula que se encuentre adherida a la madera.
- ü **Descortezado:** este proceso debe realizarse para que la madera utilizada tenga la menor cantidad de corteza posible, ya que ésta produce un efecto debilitador indeseable en la pasta de papel.

Una vez acondicionada la madera, se comienzan a separar las fibras que constituyen el esqueleto de la madera. Esto puede realizarse mediante tres diferentes procesos:

1. **Mecánicos:** realizados mediante la aplicación de fuerzas mecánicas de compresión y de cizalla (como las que realizan las tijeras para cortar) para conseguir la separación de las fibras. Este proceso lo realiza una troceadora.
2. **Semiquímicos:** se utiliza una combinación de tratamientos mecánicos con la adición de ciertos reactivos químicos que aceleran y optimizan la separación.



3. **Químicos:** tratamientos en donde se utilizan sólo agentes químicos que producen la separación de la lignina de la celulosa. Normalmente se realizan a alta temperatura y presión.

La siguiente etapa en el proceso de obtención del papel es la del blanqueo de la pulpa. Aquí, no sólo se eliminan las sustancias coloreadas de la pulpa, sino que se completa el procesado de la pulpa para lograr las características deseadas (cantidad de lignina, hemicelulosa, residuos orgánicos, etc.).

El método más antiguo de blanqueo, era someter a las telas (materia prima) a decoloración natural mediante exposición a la luz solar. Hacia fines del siglo XVIII se comenzaron a utilizar el cloro y mayormente el hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Hacia 1830 se comenzó a aplicar comercialmente el cloro elemental como agente blanqueador de pulpa. Este procedimiento permitió eliminar la lignina, obteniéndose una pulpa de gran blancura.

Más adelante, en 1920 se descubrió la acción blanqueadora del dióxido de cloro (Cl_2O) en el proceso de blanqueo de pastas, pero su aplicación comercial tuvo lugar recién en los años cincuenta, pues poseía problemas en cuanto a resistencia de materiales, elevada toxicidad y riesgo de explosiones.

Otros agentes blanqueadores importante son el hidrosulfuro, y el peróxido de sodio o de hidrógeno, el oxígeno y el ozono, pero éste presenta problemas de toxicidad y peligro en el manejo.

La elección del método de blanqueo debe tener en cuenta, no sólo la efectividad y viabilidad económica de la técnica empleada, sino también el efecto contaminante sobre el medio ambiente. Esto se debe a que, los compuestos utilizados y los residuales de los tratamientos oxidativos de blanqueo, pueden producir residuos peligrosos y nocivos para la salud humana, por lo que en la evaluación de alternativas, debería considerarse el costo del tratamiento de dichos compuestos.

Una vez obtenida la pulpa de papel con las características adecuadas para el tipo de papel deseado, comienza la etapa de fabricación del papel en sí misma. Este proceso consiste en transformar la pulpa (suspensión acuosa de fibras) en láminas de papel y se lleva a cabo en continuo, mediante una máquina en la que ingresa la pulpa y los aditivos correspondientes, y produce rollos de papel de las características deseadas.

Para cada tipo de papel se emplea un tipo de máquina diferente. Así, las máquinas de papel sanitario son diferentes de las máquinas que fabrican papel de periódico, sin embargo todas están basadas en procesos básicos similares y poseen siete secciones diferenciadas:

Cabeza de máquina: aquí se bombean las materias primas (las fibras y los aditivos químicos y 99% de agua), la cual alimenta continuamente la sección de mallas.



Sección de mallas (sección húmeda): es una cinta larga y elástica (de hasta 35 m de longitud y ancho igual al de la máquina). Aquí, el agua que acompaña a la pulpa comienza a escurrirse por los huecos de la maya arrastrando consigo las fibras más finas. Cuando la pulpa llega al final de la cinta de mallas, ya es una hoja de papel pero aún húmeda y de baja resistencia.

Sección de prensado: está formada por una serie de cilindros pesados a través de los cuales pasa el papel húmedo. En ellos, la humedad es escurrida y retirada por succión.

Sección de secado: posee un gran número de cilindros desecadores que se encuentran a una temperatura superior a 100°C. Cuando la hoja de papel pasa a través de esta sección, se seca completamente.

Calandrado: se encuentra en la parte final del banco de cilindros. Consiste en mejorar el acabado del papel, dejando una superficie más lisa y haciendo el papel más brillante. El tratamiento se efectúa en la satinadora, máquina compuesta por cilindros con una superficie fría y lisa.

Estucado: consiste en aplicar sobre una de las caras del papel una capa de adhesivos y pigmentos que forman una película de barniz llamado estuco. Esto permite mejorar los resultados de la impresión y alcanzando un mayor grado de blancura del papel.

Encolado: se realiza para aumentar la resistencia mecánica del papel y consiste en aplicar a la hoja de papel una capa formada principalmente por determinados tipos de almidones.

Todo este proceso se realiza en continuo y una vez listas las bobinas de papel, se envían a las diferentes fábricas de productos de papel, para su conversión en los distintos productos.

Enzimas para la fabricación del papel y en beneficio del ambiente

En muchos procesos, las enzimas pueden sustituir sustancias químicas y contribuir en procesos de producción. Son más específicas en su acción que las sustancias químicas sintéticas y son biodegradables, con lo cual pueden ser beneficiosas para el medio ambiente. Los procesos que emplean enzimas, por lo tanto, producen menos subproductos residuales, propiciando la obtención de productos de mejor calidad y disminuyendo la probabilidad de polución.

El uso de enzimas en la industria papelera ha crecido considerablemente desde mediados de la década de 1980 y muchas de las áreas de aplicación aún se encuentran en desarrollo. En los últimos años, las enzimas celulasas y hemicelulasas (que degradan celulosa y hemicelulosa, respectivamente), han sido evaluadas por su capacidad de modificar beneficiosamente las características de las pastas y de los papeles. El tratamiento con enzimas celulasas parece aumentar el área de enlaces entre fibras, mejorando algunas propiedades de los papeles.



Existen en la naturaleza microorganismos que poseen enzimas del grupo de las celulasas (como las celobiohidrolasas y las endoglucanasas) que se encargan de la degradación de la celulosa. Estas enzimas han sido ampliamente estudiadas en hongos mesófilos, tales como *Trichoderma reesei*. Sin embargo, las actividades hidrolíticas de las celulasas de este microorganismo son afectadas por una serie de factores físicos y químicos que limitan su aplicación a nivel industrial.

Debido a esto, los científicos están estudiando y aislando cepas con mejores rendimientos (mayor cantidad de enzimas producidas) y que mantengan una elevada estabilidad de su actividad a pH extremos, elevadas temperaturas de reacción, en presencia de solventes orgánicos y detergentes iónicos, etc. Así, han comenzado a surgir los microorganismos termófilos como fuentes de enzimas celulasas termoestables, otorgándoles una mayor ventaja en aplicaciones industriales. Entre las bacterias termófilas utilizadas se encuentran algunas especies de los géneros *Clostridium*, *Streptomyces*, *Thermomonospora* y *Thermobifida*. Por ejemplo, *Clostridium cellulovorans* hidroliza la celulosa en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno), mientras que las especies celulolíticas de *Streptomyces*, *Thermomonospora* y *Thermobifida* la degradan en un ambiente aeróbico.

En estudios realizados con estas enzimas, se concluyó que la celulosa es degradada disminuyendo los costos y aumentando los beneficios ambientales al compararlo con el método convencional de reciclaje del papel.

Además de las enzimas celulasas, se pueden utilizar amilasas en el tratamiento del papel para reciclaje. El tratamiento previo del papel de oficina con amilasas provoca un debilitamiento de la estructura superficial del papel, y por tanto una disminución de la resistencia del papel a la penetración de fluidos.

Este tratamiento enzimático facilita la desintegración del papel, obteniéndose una pasta en mejores condiciones para extraerle la tinta.

Por otra parte, las amilasas también podrían ser utilizadas para facilitar el desprendimiento del tóner en los papeles impresos en fotocopiadoras o impresoras láser. Éstas actuarían hidrolizando el almidón del área que sirve de soporte a la partícula, permitiendo una más fácil liberación del tóner.

Otro estudio muestra que hay una mejora en la blancura del papel al usar enzimas xilanasas durante las etapas de pre-blanqueo. Esto permite una reducción en el uso de cloro y soda cáustica.

En la naturaleza existen diferentes microorganismos asociados a la descomposición de la madera, pero hasta ahora los únicos que son capaces de degradar la lignina en forma eficiente son los hongos *Basidiomicetes*, denominados "pudrición blanca", ya que producen un blanqueamiento de la madera al degradar la lignina. Estos hongos en su ciclo normal de desarrollo, consumen lignina haciendo un pulpaje natural, o **bio-pulpaje**, de las maderas



en las que se instalan a vivir. Además de deslignificar la madera, estos hongos son amigables con el medio ambiente.

Muchas industrias también utilizan enzimas y bio-dispersantes en tratamiento de efluentes para controlar niveles de DBO (demanda biológica de Oxígeno) y acelerar el tiempo de tratamiento del ambiente.

Si bien el uso de microorganismos y las enzimas derivadas de ellos ya se utilizan en estos procesos, se espera que en los próximos años la biotecnología se vuelva más dominante en los procesos de pulpage y fabricación de papel. Esto traería beneficios a la industria del papel y al medio ambiente.

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

El tema de la producción de papel se puede trabajar en clase como un proceso de producción en sí mismo, y también se puede incluir en un contexto más amplio que considere el papel como un derivado de un recurso natural que el hombre aprovecha para su beneficio, con las ventajas y las desventajas que esto acarrea para el medio ambiente.

Los seres humanos, al igual que todos los seres vivos, utilizan diferentes componentes del medio ambiente para satisfacer sus necesidades: incorporan alimentos, agua y oxígeno que les permiten cubrir sus requerimientos metabólicos de materia y energía. Pero, a diferencia del resto de los organismos, la especie humana ha desarrollado tecnologías que le permiten transformar en productos útiles aquellos bienes naturales que no pueden ser aprovechados en forma inmediata, tal cual se presentan en la naturaleza. Por ejemplo, aplicando la técnica de la agricultura, el suelo se transforma en una fuente de alimentos. La madera, por su parte, puede utilizarse para construir viviendas o para obtener calor. Cuando los bienes que ofrece la naturaleza (suelos, minerales, bosques, petróleo, etc.) son transformados de esta forma y utilizados por los seres humanos, se los denomina *recursos*.

La madera, un recurso ampliamente explotado, se aprovecha como fuente de energía, en forma de leña o carbón vegetal, se explota para la fabricación de muebles, casas, puertas, etc., y se emplea en la elaboración de papel y cartón. El uso irracional de este recurso natural tiene efectos negativos sobre el medio ambiente ya que los bosques suministran otros productos de valor (alimentos, fibras, sustancias medicinales) y desempeñan un papel fundamental en el equilibrio natural. El reciclado consiste en aprovechar los materiales de los cuales están hechos los residuos como materia prima para otras aplicaciones. Los papeles y los cartones son los materiales que más se reciclan en el mundo, lo que permite ahorrar grandes cantidades de energía y de agua utilizados en su elaboración, y reducir la deforestación.



Otro aspecto a trabajar se refiere a la estructura química de las moléculas que componen la madera, y a su función, en el marco del estudio de las biomoléculas que componen a todos los seres vivos. Se sugiere para esto coordinar con docentes de química, y trabajar con ellos también las etapas en la fabricación del papel, las reacciones que se llevan a cabo y las transformaciones físicas y químicas que tiene lugar en cada paso.

Una experiencia interesante que se sugiere es el reciclado casero de papel, que permite conocer parcialmente las etapas involucradas. También, si fuera posible, se recomienda hacer una visita a una industria papelera o a un taller que elabora de forma casera y manual papel artesanal. En esos casos es interesante ver las etapas, desde la manipulación de las plantas que constituyen la materia prima, hasta la obtención del papel. Esto, a su vez, se relaciona, con el tema del reciclado y la conservación del ambiente, debido a un menor empleo de químicos que pueden ser contaminantes. Esto también se relaciona con conceptos vinculados con la biotecnología y la posibilidad de emplear enzimas y los microorganismos de las que se extraen para una producción de papel más “amigable” con el ambiente y un desarrollo sustentable que regule y conserve los recursos a largo plazo.



CONCEPTOS RELACIONADOS

Recursos naturales. Procesos productivos. El hombre y el ambiente. Contaminación. Desarrollo sustentable. Biomoléculas. Carbohidratos. Enzimas.

ACTIVIDADES

Actividad 1: Revisión de conceptos

En la siguiente actividad se propone relacionar los términos con sus definiciones correspondientes:

Términos: a) **Celulosa**, b) **lignina**, c) **celulasa**, d) **pulpa**, e) **descortezado**, f) **blanqueado**, g) **bacterias termófilas**, h) **Clostridium**

- 1) Microorganismos que viven en condiciones extremas de temperatura. Se están comenzando a utilizar aquellas que producen enzimas celulasas para el tratamiento de la pulpa para papel
- 2) Componente principal de la madera, el cual se utiliza para la fabricación de papel. Posee zonas cristalinas y amorfas.
- 3) Proceso en donde se retira la corteza de los árboles, luego del lavado de los mismos.
- 4) Compuesto hidrofóbico de la madera que debe ser separado de la celulosa.
- 5) Enzima utilizada en la fabricación de papel, y tiene la capacidad de modificar beneficiosamente sus características.
- 6) Etapa del procesamiento en donde se eliminan las sustancias coloreadas de la pulpa mediante compuesto químicos como dióxido de cloro, hidrosulfuro, y el peróxido de sodio o de hidrógeno, el oxígeno y el ozono.
- 7) Suspensión acuosa de fibras que ingresa a la cabeza de máquina (primera sección del procesamiento de la hoja de papel).
- 8) Microorganismos termófilos que hidrolizan la celulosa en condiciones anaeróbicas.

Respuesta:

a-2; b-4; c-5; d-7; e-3; f-6; g-1; h-8



Actividad 2: El procesamiento de papel

En esta actividad se propone observar la infografía de fabricación del papel disponible en aula.elmundo.es/aula/laminas/lamina1069937674.pdf, que muestra las diferentes etapas del procesamiento del papel y completar los casilleros en blanco.

Se sugiere tapar / borrar los términos clasificados con los números 2, 3, 5, 8, 9, 10 y 11 y fotocopiar la actividad con dichos blancos para que los alumnos completen con las referencias faltantes.

Respuestas:

2: descortezado

4: troceadora

5: tratamiento químico

8: pasta

9: sección de mallas

10: prensado

11: secado

Actividad 3: Análisis de texto

Fuente: http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/reportes/result_indiv.asp?Id=3441

(Publicado el 13/04/2007)

Dos en un uno: microbio convierte celulosa en etanol y además fabrica un adhesivo para madera

La obtención de etanol a partir de celulosa (el componente más abundante de las plantas) sigue siendo un objetivo muy importante para los científicos. Hasta ahora, sólo es posible hacerlo empleando enzimas caras, que además tienen una capacidad limitada para convertir a las paredes de las células vegetales en biocombustibles. Sin embargo Paul Weimer, microbiólogo del Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos (ARS) descubrió una manera para transformar celulosa en etanol de una manera más eficiente, usando un microbio particular. Se trata de una bacteria, *Clostridium thermocellum*, que además tiene la capacidad de sobrevivir a altas temperaturas y no requerir oxígeno. Como subproducto de la producción de etanol, la bacteria también fabrica un pegamento para la madera. Según Weimer, este bio-adhesivo podría comercializarse, y de esta manera representaría un valor agregado interesante a la producción del combustible. En cuanto a la producción de etanol, sería un proceso potencialmente más barato y más eficaz que el convencional, que emplea a las enzimas por un lado y a las levaduras por otro. En este caso, un sólo microbio haría las dos funciones. La idea del bio-adhesivo surgió mientras el investigador observaba cómo la bacteria *Clostridium* descomponía pedazos de alfalfa. Notó que mientras convertía a las fibras de celulosa en etanol, la bacteria permanecía adherida muy fuertemente a la hoja. Junto con colegas del Laboratorio de Productos Forestales, Weimer descubrió que el bio-adhesivo de las bacterias era lo suficientemente fuerte como para reemplazar hasta el 70 % del fenol/formaldehído obtenido del petróleo y usado para fabricar aglomerados y otras piezas de madera.

Nota: *Clostridium thermocellum* es una bacteria anaerobia, termofílica, celulolítica y etanogénica, capaz de convertir directamente celulosa en etanol, y por lo tanto es potencialmente útil en el aprovechamiento de desechos agrícolas y forestales para la obtención de etanol.

Preguntas para analizar el artículo:

- 1) ¿Quién y en dónde se realizó la investigación?
- 2) ¿Cuál fue el descubrimiento de esta investigación?

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



- 3) ¿Cuáles son las características de *C. thermocellum* que la hacen eficiente en este proceso?
- 4) ¿Qué produce esta bacteria como parte de su metabolismo?
- 5) ¿Cómo descubrió esto el investigador?
- 6) ¿cuál es la importancia de este descubrimiento?

Respuestas

- 1) Paul Weimer, microbiólogo del Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos (ARS)
- 2) los científicos descubrieron una manera más eficiente de transformar celulosa en etanol, usando una bacteria llamada *Clostridium thermocellum*
- 3) Rta: es una bacteria termofílica y anaeróbica, condiciones requeridas muchas veces al emplear estos organismos en procesos productivos.
- 4) Produce etanol a partir de la degradación de la celulosa y como metabolito secundario, una sustancia adhesiva para madera.
- 5) Mientras observaba cómo *Clostridium* convertía a las fibras de celulosa en etanol, advirtió que la bacteria permanecía adherida muy fuertemente a la hoja de alfalfa (fuente de celulosa).
- 6) El bio-adhesivo de las bacterias era lo suficientemente fuerte y podría reemplazar hasta el 70 % del fenol /formaldehído obtenido del petróleo y usado para fabricar aglomerados y otras piezas de madera. Esto permitirá reemplazar un producto no-renovable por otro renovable.

Actividad 4. Fabricación de una hoja de papel

Adaptado de <http://www.explora.cl/exec/cyt/experimento/ficha.e3?id=45>

El objetivo de la actividad es conocer los principios básicos del reciclado de papel, partiendo de papel de desecho. Puede realizarse con alumnos de diferentes edades.

Materiales

1. La materia prima: el papel a reciclar
2. una licuadora
3. Una tela donde formar la hoja de papel. Se puede usar un bastidor con una tela de fibra. El bastidor puede ser rectangular, o se podría usar uno de los que existen en el comercio para bordados
4. Papel filtro para secar la hoja formada
5. Un rodillo o palo de amasar del tamaño del bastidor.

Método

1. Picar manualmente en trozos pequeños el papel a reciclar (aproximadamente 6 gramos)
2. Remojar el papel picado en más o menos un litro de agua.
3. Disgregar en licuadora la mezcla de agua y papel. Se obtiene una suspensión de fibras en agua.
4. Tomar una muestra homogénea de suspensión (aproximadamente 400 ml) y agregarla al bastidor, sobre la tela.
5. Dejar que drene, moviendo manualmente.
6. Cuando ya se vea formada una hoja húmeda de papel poner sobre ella el papel secante, y pasar el rodillo.
7. Retirar la hoja formada y dejar secar.



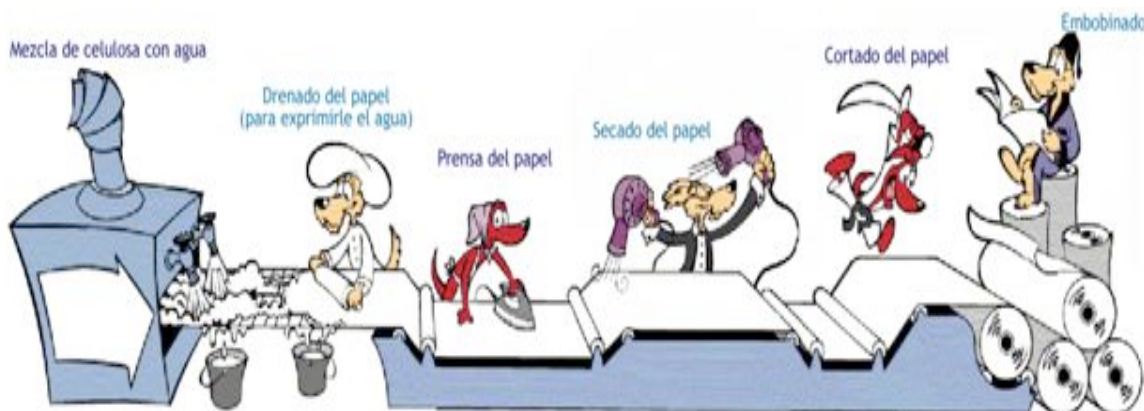
El papel picado se pasa por la licuadora

Variaciones:

- a.- Teñir con algún colorante vegetal las fibras al formar la suspensión para obtener papel de color.
- b.- Tapar algún sector de la tela con gotas de vela (se puede dibujar un logo por ejemplo) y este dibujo quedará en el papel.

Actividad 5. Proceso de fabricación para los más chicos

El objetivo de esta actividad es aproximar los temas más complejos a los alumnos más pequeños a través de una ilustración que resulte simple, accesible y amena.



Se propone mostrar la ilustración a los alumnos y trabajar con ellos en clase para que identifiquen cada una de las etapas estudiadas.



Material de Consulta

1. aula.elmundo.es/aula/laminas/lamina1069937674.pdf Infografía sobre la producción de papel
2. <http://www.textoscientificos.com/papel/el-papel> Sitio que cuenta, en forma muy completa, las etapas de fabricación del papel
3. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332003000100008. Degradación enzimática de celulosa por Actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica.
4. Lignins and lignocellulosics: a better control of synthesis for new and improved uses. Alain M. Boudet *et al.* TRENDS in Plant Science Vol.8 No.12 December 2003.
5. <http://egresados.fcien.edu.uy/FABRICACION%20PAPEL.pdf> La fabricación de pasta, papel, y derivados del papel. Facultad de Ciencias. Uruguay.
6. <http://www.explora.cl/exec/index.e3> Explora. Divulgación y valoración de la ciencia y la tecnología. Perteneciente a <http://www.conicyt.cl/> Comisión nacional de Investigación científica y tecnológica de Chile.