

Acerca del Desarrollo y Control de Microorganismos en la Fabricación de Papel

On the Development and Control of Microorganisms in the Paper Manufacture

Nota de divulgación

Jesús Cervantes-Martínez, Rocio Orihuela-Equihua, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Apartado Postal 580. C. P. 58000. Morelia, Michoacán, México. Tel. (443) 326 03 79 , rutiaga@umich.mx

Resumen

En este trabajo se presenta un panorama general sobre los factores que intervienen en el desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos y algas en la fabricación de papel. Asimismo se hace mención sobre los biocidas usados en la industria para controlar el crecimiento de microorganismos.

Palabras clave: fibras celulósicas, bacterias, hongos, biocidas.

Abstract

In this work we present a general overview on the factors that intervene in the development of microorganisms such as bacteria, fungi and algae in the paper manufacture, including references to the most common biocides used in the paper industry to control the growth of microorganisms.

Keywords: cellulosic fibers, bacteria, fungi, biocides.

Introducción

Para la fabricación de papel se utilizan fibras celulósicas y otros materiales no fibrosos, por ejemplo aditivos, cargas y colorantes, que se adicionan para dar al papel producido características y propiedades especiales [1, 2, 3, 4]. En relación a las fibras, estas pueden proceder de madera, plantas anuales y fibras recicladas, también llamadas fibras secundarias. Independientemente del origen de las fibras, antes de fabricar el papel, es necesario limpiar este material celulósico y dejarlo listo para el proceso de fabricación [5, 6, 7]. En este proceso es común que diversos microorganismos causen problemas en sus diferentes etapas, como por ejemplo, producción de babazas que pueden ocasionar agujeros en el papel, así como malos olores en los productos terminados, incrustaciones y taponamientos [8, 9, 10, 11]. Los microorganismos comúnmente encontrados en el proceso de fabricación del papel son bacterias, hongos y algas [12]; a continuación se presentan aspectos generales sobre los factores que intervienen en el desarrollo y control de estos microorganismos.

Factores que intervienen en el desarrollo de microorganismos

Elementos necesarios para el desarrollo

El requerimiento de elementos para el desarrollo de microorganismos está en función de la especie de que se trate; sin embargo, la literatura indica que en términos generales los microorganismos requieren aproximadamente los mismos elementos que los demás seres vivos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, como elementos esenciales; hierro, calcio, magnesio, potasio, sodio y cloro, como posiblemente esenciales; manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno, yodo y sílice, como elementos que pueden ser esenciales para ciertos microorganismos. Además de las sustancias para dar energía a las células, los microorganismos requieren de vitaminas [13]. Muchos de estos nutrientes se encuentran de manera fácil y abundante en el sistema de la máquina de papel (celulosa, sales de calcio, almidón, entre otros) [11, 14].

Sustratos para el crecimiento

Los microorganismos obtienen alimento del sustrato donde crecen; aquellos alimentos relativamente simples pueden ser disueltos fácilmente. Sin embargo, para hacer más solubles y adecuados para la alimentación los compuestos más complejos, los hongos y bacterias segregan enzimas extracelulares que catalizan la hidrólisis de los compuestos, convirtiéndolos en alimentos solubles más simples. La actividad de las enzimas se ve influida por la temperatura, el pH, presencia de sales neutras (o de metales pesados) y por el tiempo. El número y tipo de compuestos susceptibles de ser utilizados por los microorganismos no está claro pero se estima que, por ejemplo, las bacterias heterotróficas pueden utilizar de 400 a 500 compuestos [13]; las materias primas para la fabricación de papel (celulosa, hemicelulosas, almidón y otras), son susceptibles para su desarrollo [10]

Efecto del agua sobre el crecimiento

El agua, dentro del proceso de fabricación del papel, es de vital importancia, pues es el medio de transporte de las fibras y de los demás materiales que se añaden en diferentes etapas del proceso; al inicio de la formación del papel la proporción de agua puede ser de 99% y a través de las subsiguientes etapas la cantidad de agua va disminuyendo hasta alcanzar de 4 a 8% de humedad [15]. En general, las bacterias requieren la presencia de agua para su desarrollo, ya que el agua es un medio de transporte de las sustancias alimenticias en solución hacia sus células, para eliminar el desperdicio que producen y para mantener la humedad necesaria de su entorno; ellas pueden desarrollarse en condiciones de mayor humedad que la mayoría de los hongos [13].

Efecto de la temperatura

La temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes que condicionan el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos; la combinación de bacterias y hongos los hace capaces de sobrevivir en un rango de temperatura de 0 hasta 65°C en un tiempo prolongado. Un medio donde se pueden desarrollar son algunas soluciones de almidón y las formulaciones para el recubrimiento en la fabricación de papel [13].

Puede suponerse que si la temperatura del agua de proceso se incrementara lo suficiente, mediante la recirculación del agua blanca, o por otros medios, se eliminarían las acumulaciones de babazas. Sin embargo, se ha encontrado que no es el caso, incluso cuando la temperatura pueda llegar hasta niveles de 60°C. Estas situaciones se traducen en un crecimiento predominante de las bacterias termofílicas del género *Bacillus*. Además, cualquier parte del sistema del proceso en que la temperatura disminuye, pasa con frecuencia a convertirse en puntos de grave acumulación de babazas. Este es un caso clásico en que las condiciones ambientales pueden cambiar el tipo predominante de los microorganismos presentes, pero con el suficiente crecimiento por parte de los mismos crean problemas en la fabricación de papel [13].

Efecto del oxígeno y la luz

La mayoría de los hongos requieren de oxígeno para su desarrollo. Las bacterias anaeróbicas se desarrollan en ausencia de oxígeno y las bacterias autotróficas obtienen el carbono que requieren tomándolo del dióxido de carbono. Las bacterias aerobias requieren de oxígeno para su desarrollo, en tanto que las bacterias facultativas anaeróbicas existen tanto en presencia como en ausencia de oxígeno [13,16].

Algunos hongos requieren cierta cantidad de luz para reproducción normal. La luz ultravioleta

puede estimular a algunos, inhibir a otros o matarlos, dependiendo el efecto de circunstancias tales como la longitud de onda, el tiempo de exposición y las especies particulares implícitas. La mayoría de las esporas de los hongos son más resistentes al daño ocasionado por la luz ultravioleta que las bacterias, las cuales tampoco requieren luz. Algunos hongos tienen un pigmento oscuro en su micelio y esporas que aparentemente los protegen contra la luz ultravioleta [13].

Efecto del pH

El pH es un factor importante que influye sobre el crecimiento de los microorganismos. Algunas bacterias generalmente crecen a pH bajos (3.0) y los hongos también se desarrollan a pH bajos (1.0). Sin embargo, el rango óptimo de pH para las bacterias va de 6.0 hasta 8.5 y sólo pocas prefieren pH de 8.5 o mayor. Los hongos pueden crecer en medios con pH hasta de 8.5, pero la mayoría de ellos prefieren un pH ácido y tienen la capacidad, como ocurre con algunas de las bacterias, de alterar el pH de un medio no amortiguado por los productos que generan durante su crecimiento [13].

Agentes para llevar un control de microorganismos

En la fabricación de papel se emplean biocidas para controlar el crecimiento bacteriano en su sistema de producción [14], y esto se ha aplicado desde hace muchos años [17]; los primeros productos químicos usados para el control de microorganismos, eran compuestos de metales pesados tóxicos, tales como el arsénico y el antimonio, también mercurio [10]. Los biocidas metálicos, los orgánicos y los inorgánicos, se han sustituido en gran parte por compuestos químicos menos tóxicos para el medio ambiente y para la humanidad.

En el año de 1945, el Dr. Buckman concluyó que los depósitos de limo encontrados en la superficie de las máquinas de papel y alrededor de los defectos de la hoja de papel acabada, eran el resultado de crecimiento microbiológico y llevando a cabo experimentos de laboratorio, dio como resultado el desarrollo de uno de los primeros productos químicos para el control de microorganismos (fenilmercurio), microbicida de amplio espectro. De este compuesto se obtuvieron otros derivados constituyendo el estándar para el control de depósitos de limo en una década [12].

Posteriormente en el año 1955 se elaboró otro compuesto basado en la química del tiocarbamato, el cual fue introducido a los molinos de papel y a los molinos de azúcar. Investigaciones adicionales condujeron al desarrollo de dos productos más: producto

de borato de bario para la industria de recubrimiento y plásticos, y un dispersante no iónico [12].

En la época de los años 60's el Laboratorio Buckman produjo dos microbicidas más que eran extremadamente eficaces [12]:

- WSCP (Tabla 1), polímero catiónico soluble en agua: se usa actualmente en albercas, sistemas de agua enfriamiento y en el tratamiento de aguas por su eficaz control bacteriano y de algas.
- TCMTB (Tabla 1), fue desarrollado inicialmente para la industria del papel, pero desde entonces se ha convertido en un ingrediente activo de una gran variedad de biocidas [16].

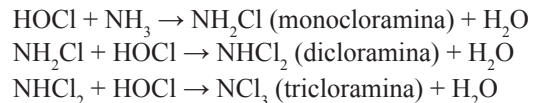
Por razones prácticas, en la mayoría de los sistemas industriales de agua, sólo puede hacerse un uso limitado de las condiciones físicas que afectan la vida microbiana; por ejemplo, el calentamiento del agua puede controlar la actividad de microorganismos, pero si el agua se emplea para fines de enfriamiento, esto no es útil, o como en el caso de una fábrica de papel, no es factible cambiar a esta variable ya que por un lado se afectaría el drenado y retención en la mesa de formación y por otro lado se incrementaría el consumo de vapor, por ende, el costo de producción.

Entre las condiciones químicas que podrían emplearse para el control de microorganismos, el único candidato posible con resultados prácticos es el pH, pero también éste se encuentra limitado a menos que el agua del sistema pueda mantenerse tan bajo como 3, y tan alto como 10. No obstante, esto no es posible ya que en un sistema ácido se afectaría el encolado que requiere un pH promedio de 6.5, y en un sistema alcalino 7.5, así también afectaría los productos químicos usados para el drenado y la retención en el proceso de fabricación de papel.

Ya que ni las condiciones físicas ni las químicas pueden cambiarse en forma práctica, para controlar el crecimiento microbiano deberán emplearse productos químicos como biocidas. Los dos tipos comúnmente empleados son los oxidantes y los no oxidantes.

Biocidas oxidantes (usados en agua fresca y en efluentes)

El cloro es un agente fuertemente oxidante capaz de reaccionar con muchas impurezas en el agua, incluyendo amoníaco, aminoácidos, proteínas, material carbonáceo, Fe^{+2} , Mn^{+2} , S^{-2} y CN^{-} [18]. La cantidad de cloro necesaria para reaccionar con estas sustancias se denomina demanda de cloro. El cloro reacciona con el amoníaco para formar tres cloraminas diferentes:



Estos compuestos de cloramina también tienen propiedades de biocidas; se les conoce como cloro residual combinado. En general, las cloraminas actúan más lentamente que el cloro residual libre, pero tienen la ventaja de ser más efectivas a valores de pH mayores que 10. Las cloraminas también pueden ser más persistentes en un sistema de agua [18].

El cloro también reacciona con el nitrógeno orgánico en el agua. Éste se encuentra en los componentes de las células vivas, las proteínas y los aminoácidos. Se cree que la toxicidad del cloro no se deriva del cloro mismo o de la liberación del oxígeno naciente, sino más bien de la reacción de HOCl (ácido hipocloroso) con el sistema enzimático de la célula. La superioridad del HOCl sobre el OCl^{-} (ión hipoclorito) puede deberse al tamaño molecular pequeño y a la neutralidad eléctrica del HOCl, que le permite pasar a través de la membrana celular.

El siguiente de los biocidas oxidantes más comunes es el ozono, O_3 , que está en uso comercial en toda Europa y en ciertos municipios de Estados Unidos para la desinfección del agua potable. También se emplea en ciertas aplicaciones de tratamiento de desechos para evitar las cloraminas residuales que resultan de la cloración usual del efluente de agua de desecho [18].

Los biocidas oxidantes también reaccionan con contaminantes como H_2S (ácido sulfídrico), NH_3 (amoníaco), lignina de la pulpa, azúcares de madera y otras sustancias orgánicas. Esto aumenta la cantidad de cloro necesaria para los propósitos biocidas. Además, no penetran las masas de limo y pierden su eficiencia cuando el pH aumenta [18].

Los biocidas oxidantes requieren tratamientos complementarios para mejorar su efectividad. Estos incluyen dispersantes para remover las masas de limo que existen y para prevenir que los organismos se asienten sobre las superficies que transfieren el calor, penetrantes para permear las masas orgánicas y exponer y matar los organismos que se hallan debajo de la superficie, y biocidas para el control de organismos en sistemas contaminados con H_2S , y NH_3 y otros agentes reductores [18].

Biocidas no oxidantes

Los biocidas no oxidantes ofrecen una posibilidad para el control de la actividad microbiana en sistemas que son incompatibles con el cloro, como con el agua de alto contenido de materia orgánica o amoníaco (NH_3). Ellos tienen las siguientes características: actividad independiente del pH, persistencia y control

de organismos como bacterias y algas. Ya que todos estos beneficios no se encuentran por lo común en un sólo biocida penetrante, se formulan ingredientes individuales en productos apropiados diseñados para incrementar el funcionamiento global en aplicaciones específicas. Por ejemplo, los sistemas de las máquinas de papel, sistemas abiertos de aguas de enfriamiento y agua de proceso en plantas de alimentos [18].

Compuestos organosulfurados

El metileno-bis-tiosanato (MBT), (SCN)—CH₂—(SCN), es un biocida organosulfurado bien conocido. Se recomienda para aplicaciones en fábricas de papel y en sistemas de enfriamiento donde son estrictas las limitaciones sobre el efluente y donde el problema principal es el control de bacterias formadoras de limo. El tiempo de retención y el pH afectan la vida media del MBT, que se hidroliza en el agua para formar sustancias menos tóxicas [18].

Tabla 1. Algunas clases de biocidas y su aplicación

Clase	Organismo	Modo de acción
Dialquiloditiocarbamato	Bacterias	Complejos con metales y radicales libres
Monoalquiloditiocarbamatos	Bacterias	Reacciona con grupos sulfidrílo
Bis(tiocianato) de metileno (MTC)	Bacterias Hongos	Desacopla la fosforilación oxidativa
2-tiocianometiltiobenzotiazol (TCMTB)	Hongos	Inactivación de complejos de enzimas metálicas
Combinación de MTC y TCMTB	Algas Bacterias Hongos Nematodos	Actividad sinérgica de ambos compuestos
Bromuro de sodio	Bacterias	Fuerte agente oxidante
Bromohidroxiacetofenona (BHAP)	Bacterias Algas	Se ligan a las proteínas
Ionona polimérica (WSCP)	Algas Bacterias	Afecta la membrana citoplásmica
1-metil-3,5,7-triaza-1-cloruro de azoniatriciclododecano	Bacterias	Se conecta a la proteína
Metaborato de bario	Hongos	Amortiguador de pH
Piroborato de calcio	Hongos	Ataca probablemente a los grupos –SH en la proteína

Conclusiones

En las diferentes etapas del proceso de fabricación de papel existen condiciones propicias para el desarrollo de ciertos microorganismos, que pueden ocasionar problemas llegando a repercutir fuertemente en el proceso de fabricación: mermas provocadas por roturas de babazas y reducción de la producción por paros para limpiezas de los componentes de la máquina (lavado de las estructuras metálicas, lavado de vestiduras como fieltros y telas, limpiezas de las cajas de entrada, de cajas de vacío y todo aquel lugar donde se puedan acumular cantidades considerables de babazas que afecten el buen funcionamiento de la máquina). Todos estos problemas en conjunto tienen un fuerte impacto económico, por eso se concluye que los programas de control microbiológico son de vital importancia. Para el control de estos microorganismos se han utilizado compuestos de cierta toxicidad. El reto ha sido, a través del tiempo, sustituirlos por compuestos más amigables al medio ambiente y al hombre mismo. Ejemplo de ello será el empleo de microbicidas menos tóxicos o no tóxicos, como usar enzimas para el control de estos microorganismos, y para otras aplicaciones como: blanqueo, destintantes y control de pequeñas astillas (stikies).

Referencias

- [1] Bømer, E., (1991), Relleno y carga. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 2. LIMUSA. México.
- [2] Keavney, J. J. y Kulick, R. J., (1991), Encolado interno. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 3. LIMUSA. México.
- [3] Lips, H. A., (1991), Teñido. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 3. LIMUSA. México.
- [4] Reynolds, W. F. y Wasser, R. B., (1991), Resinas de resistencia en seco. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 3. LIMUSA. México.
- [5] Felton, A. J., (1990), Producción de pulpa con fibras secundarias. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 1. LIMUSA. México.
- [6] Smook, G. A., (1990), *Manual para técnicos de pulpa y papel*. TAPPI. Atlanta, GA.
- [7] Young, J. H., (1991), Preparación de la fibra y flujo de alimentación de la pasta. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 2. LIMUSA. México.

- [8] Brandon, C. E., (1991), Propiedades del papel. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 3. LIMUSA. México.
- [9] Chaudhary, A., Gupta, L.K., Gupta, J.K. y Banerjee, U.C., (1997), Studies on slime-forming organisms of a paper mill-slime production and its control. *J Ind Microbiol Biotechnol* 18: 348-352.
- [10] Väisänen, O.M., Nurmiaho-Lassila, E.L., Marmo, S.A. y Salkinoja-Salonen, M.S., (1994), Structure and Composition of Biological Slimes on Paper and Board Machines. *Appl Environ Microbiol* 60(2): 641-653.
- [11] Rättö, M., Suihko M.L. y Siika-aho, M., (2005), Polysaccharide-producing bacteria isolated from paper machine slime deposits. *J Ind Microbiol Biotechnol* 32: 109-114.
- [12] Buckman Laboratories, (2000), *Generalidades de los microorganismos encontrados en la fabricación de papel*. Departamento de Pulpa y Papel. Buckman Laboratories Inc.
- [13] Buckman, S. J. y Buckman, J. D., (1991), Microbiología. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 2. LIMUSA. México.
- [14] Desjardins, E. y Beaulieu, C., (2003), Identification of bacteria contaminating a pulp and paper machine in Canadian paper mill. *J Ind Microbiol Biotechnol* 30: 141-145.
- [15] Kershaw T. N., (1991), Formación y secado. En: *Pulpa y papel, química y tecnología química* (J. P. Casey, comp.). Vol. 2. LIMUSA. México.
- [16] Atlas, R. M. y R. Barta., (1981), *Seminario de microbiología básica*. Buckman Laboratories Inc.
- [17] Tanner, F.W., F.A.P.H.A., Wheaton, E. y Ball, C.O., (1940), Microbiology of Paper and Paperboard for Use in the Food Industry. *AMERICAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH*. 30: 256-266.
- [18] Kemmer, F. N. y McCallion, J., (1989), *Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Nanco Chemical Company. McGraw-Hill. México.

Recibido: 10 de julio de 2017

Aceptado: 26 de noviembre de 2017