

Cambios en los Nutrientes de las Aguas Residuales Generan Ahorros Para los Dueños de Plantas de Papel

Shawn Whitmer, PE, y Heather Jennings, PE

Si bien las plantas de papel y pulpa luchan por sobrevivir en épocas económicas cada vez más difíciles, muchas intentan mejorar y expandir sus procesos de producción. Como resultado, esto genera mayores volúmenes de aguas residuales contaminadas y un aumento en el uso de químicos para abordar el problema de la contaminación. La falta de análisis y planificación serios sobre la gestión de los procesos, de tratamiento de aguas residuales, pueden dar lugar al fácil desequilibrio o la insuficiencia de dichos procesos para satisfacer el aumento de demanda sobre ellos.

En este artículo, analizamos la importancia de la bioremediación de aguas residuales y los importantes papeles que desempeñan los microorganismos y los sistemas de nutrición estructurados necesarios para administrar los ecosistemas biológicos de manera efectiva para el tratamiento eficaz y redituable de aguas residuales. Además, describimos tres estudios de casos internos en plantas de papel y pulpa celulosa para demostrar la efectividad de diferentes enfoques para la gestión de nutrientes en la bioremediación de aguas residuales.

La Industria de Papel y Pulpa Celulosa

La industria de papel y pulpa celulosa requiere mucha agua y ocupa el tercer lugar en el mundo en términos de extracción de agua dulce (60 m³ de agua por tonelada de papel producido).¹ El agua residual no tratada de las plantas, al tener alto contenido de compuestos recalcitrantes, puede ser potencialmente muy contaminante: se han encontrado más de 250 productos químicos en efluentes de plantas, incluso compuestos nocivos como ácidos resínicos y esteroides.²

Las aguas residuales de las plantas de papel y pulpa celulosa por lo general se tratan con tecnologías mecánicas, seguidas por métodos biológicos o químicos. Las normas de eliminación se definen en función de características como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO, la cantidad de oxígeno disuelto nece-

sario por los microorganismos biológicos aeróbicos para descomponer la materia orgánica en el agua), la demanda química de oxígeno (DQO, mide indirectamente la cantidad de materia orgánica en el agua), sólidos suspendidos totales (SST), el nitrógeno total y el fósforo total. Entre otros indicadores evaluados se pueden mencionar la cantidad promedio de sólidos suspendido licor de mezcla (SSLM, la concentración de sólidos en suspensión en el tanque de aireación durante el proceso de fangos activos), y la cantidad promedio de SV30 (medida de sedimentabilidad de fangos).

Bioremediación

La bioremediación es el proceso de ingeniería de las condiciones ambientales para fomentar el crecimiento de ciertos microorganismos que tienen lugar naturalmente (como bacterias, hongos, algas y enzimas) que utilizan los agentes contaminantes como fuente de alimentación. Bajo las condiciones adecuadas, los microorganismos consumen y digieren los contaminantes y, por lo general, los convierten en pequeñas cantidades de agua y de gases inocuos como el dióxido de carbono y el metano (según el proceso).

En comparación con otros enfoques, los procesos de bioremediación para el tratamiento de aguas residuales se consideran redituables, ecológicos y apropiados para reducir la DBO y la DQO de las aguas residuales.³ Los métodos de tratamiento biológico más utilizados en las plantas de papel y pulpa celulosa son procesos de fangos activados, lagunas anaeróbicas, estanques de estabilización y sus modificaciones.⁴

Microorganismos de las aguas residuales y su Nutrición

Los microorganismos se encuentran en todas partes, bajo todas las condiciones imaginables, y las aguas residuales de las plantas de papel y pulpa celulosa no son la excepción. Para que los microorganismos sean totalmente efectivos en su función de bioremediación, es imprescindible que los operadores de las

plantas creen un ecosistema estable para ellos y que lo controlen minuciosamente. El suministro de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, etc.) y micronutrientes (zinc, manganeso, molibdeno, etc.) necesarios, así como también de una fuente de carbono para que los microorganismos puedan sobrevivir, reproducirse y consumir y tratar los residuos, son clave para ese ecosistema.⁵ Todas las vitaminas y minerales son esenciales para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos, y tienen una función única y específica que deben realizar. La mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales dependen únicamente de su influente principal para proporcionar fuentes de alimentación y nutrientes a sus sistemas microbianos: esto puede generar déficit de nutrientes clave y, por lo tanto, desequilibrios o deficiencias en el sistema de aguas residuales.

Las consecuencias de desatender estos desequilibrios pueden ser significativas. Los signos de deficiencia de nutrientes incluyen hinchamiento de fangos, formación de espuma, mala sedimentabilidad, eliminación ineficiente de sólidos en suspensión, olor, exceso de fango y eliminación ineficiente de DBO o DQO. Por ejemplo, muchos problemas de formación de espuma e hinchamiento de fangos se deben al exceso de bacterias filamentosas que prosperan en entornos con carencia de nutrientes y impiden la sedimentación. Es importante comprender que al proporcionar nutrientes biodisponibles se puede mejorar el proceso y reducir a la vez el volumen total de químicos requeridos. Esto facilita el crecimiento de microorganismos sanos y, a la vez, conduce a procesos de tratamiento de aguas residuales más estables y eficientes.

Además, los procesos más estables permiten el desarrollo de formas de vida microbiana superior como amebas, ciliados, rotíferos, etc. Estas formas de vida superior son necesarias para el tratamiento efectivo de las aguas residuales, ya que se alimentan principalmente de células bacterianas libres. La ausencia de estas formas de vida superior conduce a la acumulación de fango y también puede ser un indicador de toxicidad o falta de nutrientes disponibles en los sistemas de aguas residuales, lo que conduce a operaciones ineficientes y más costosas en las plantas.

Estudios de Casos: 3 Plantas de Papel y Pulpa Celulosa

En esta sección, proporcionamos los resultados de tres estudios de casos que analizan el uso de un producto líquido específico de Probiotic Solutions® utilizado en los procesos de bioremediación de tres plantas de papel y pulpa celulosa de China. El producto es Super Phos® (SP), una fuente de fosfato monoamónico y ácido fosfórico blanco de grado técnico acompañado con la Tecnología Micro Carbono™ (TCM), un proceso exclusivo que convierte un material blando y húmico en moléculas de carbono extremadamente pequeñas con alto contenido de oxígeno. El proceso TCM genera una fuente de carbono que sirve de vehículo/portador ultraeficiente (por el bajo peso molecular de las moléculas de microcarbono, mayor área de superficie específica y mayor capacidad de intercambio de cationes) para suministrar nutrientes fácilmente biodisponibles a los microorganismos.

Planta N°. 1

La planta N°. 1 trata 30.000 m³ de aguas residuales por día. Tradicionalmente utilizaba el 85% de ácido fosfórico de calidad industrial como fuente de fósforo en su sistema de tratamiento de aguas residuales por método de fangos activados. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para evaluar la posibilidad de reemplazar la fuente de fósforo actual de la planta por menores cantidades de SP. En la prueba se utilizaron recipientes de reacción de cinco litros y 3,58 litros de agua residual proveniente de la entrada del primer clarificador y 1,42 litros de fango activado reciclado. En los recipientes se mantuvieron niveles de oxígeno disuelto (OD) de 2 mg/l utilizando bombas de aireación pequeñas. Cada prueba duró 5 días y se tomaron y promediaron dos muestras al azar diarias. Se analizó cada muestra para obtener la DQO, OD y el fósforo total, según los protocolos de los estándares de la industria. Se desarrollaron dos pruebas: en la primera se utilizó SP para reemplazar la fuente de ácido fosfórico a una proporción reducida de 1 a 4, mientras que en la segunda se utilizó SP para reemplazar la fuente de ácido fosfórico a una proporción reducida de 1 a 5. Se llevó a cabo un control en paralelo utilizando la fuente de fósforo existente.

Luego se comparó la demanda química de oxígeno (DQO) de la entrada del primer clarificador con el efluente de DQO de control, y los dos resultados de la prueba. Se descubrió que ambas proporciones de SP y DQO eran comparables a las de control (ver Tabla 1). Se compararon, además, los niveles de fósforo totales con la entrada del primer clarificador, el control y las

Tabla 1. Planta N°. 1: Comparación de la Entrada del Primer Clarificador con la DQO Promedio del Efluente por Día de Prueba

Día de Prueba	Primer Clarificador Influyente DQO (mg/L)	85% Phos Ácido DQO (mg/L)	SP (1:4) DQO (mg/L)	SP (1:5) DQO (mg/L)
1	505	52	58	Sin Prueba
2	536	50	47	Sin Prueba
3	511	54	44	45
4	622	36	38	36
5	640	23	29	26
6	605	68	Sin Prueba	64
7	639	63	Sin Prueba	65
Rango	505-640	23-68	29-58	26-65

Tabla 2. Planta N°. 1: Prueba de Fósforo Total en Efluente

Día de Prueba	Primer Clarificador Inlet Cantidad P (mg/L)	85% Phos Ácido Cantidad P (mg/L)	SP (1:4) Cantidad P (mg/L)	SP (1:5) Cantidad P (mg/L)
1	0,27	0,37	0,46	Sin Prueba
2	0,29	0,31	0,27	Sin Prueba
3	0,24	0,22	0,17	0,26
4	0,26	0,19	0,14	0,23
5	0,32	0,16	0,1	0,12
6	0,29	0,14	Sin Prueba	0,12
7	0,31	0,15	Sin Prueba	0,11
Rango	0,24-0,32	0,14-0,37	0,10-0,46	0,11-0,26

Tabla 3. Planta N°. 2: Tasa de Eliminación de DQO Correspondiente al Tanque 3 y el Tanque 4 del SBR.

Índice	Tanque 3 del SBR	Tanque 4 del SBR
Fuente de Fósforo	Super Phos®	Ácido Fosfórico Típico
Tasa de Eliminación de DQO	84%	81%
Promedio MLSS	1941 mg/L	1949 mg/L
Promedio SV30	72	73

dos pruebas, así como también con el estándar gubernamental de 0,50 mg/l (ver Tabla 2). Si bien se descubrió que el valor de la primera prueba, a una proporción de SP de 1 a 4, era levemente mayor que el valor de la entrada del primer clarificador, todavía se encontraba por debajo del estándar necesario de fósforo total. La segunda prueba, a una proporción de 1 a 5 de SP, se encontró debajo del valor del primer clarificador.

También se recolectaron muestras tomadas al azar del control, así como también las dos pruebas, y se analizaron por microscopio con un aumento de 100x. En las tres muestras se encontraron formas de vida superior (rotíferos, ciliados pedunculados y libres), lo

que indicaba una población microbiana sana sin cambios visuales entre las tres muestras.

Planta N°. 2

La planta N°. 2 cuenta con una capacidad de producción de 1.800.000 toneladas métricas de pulpa y 3.100.000 toneladas métricas de papel por año. Su sistema de aguas residuales está formado por cuatro reactores biológico se cuencial (RBS), seguidos por un sistema de aireación que trata 50.000 m³/día y cumple con todas las normas nacionales y provinciales.

Para esta prueba, se seleccionaron los Tanques 3 y 4, mientras que los Tanques 1 y 2 se mantuvieron bajo funcionamiento normal. El Tanque 3 se utilizó para la prueba de reemplazo del ácido fosfórico líquido típico por SP, y el Tanque 4 se estableció como control. La prueba se realizó durante 7 días. Para esta prueba, el ácido fosfórico típico se reemplazó gradualmente por SP durante el transcurso de tres días hasta llegar a una proporción reducida final de 1 a 4 para

minimizar los impactos potenciales (inestabilidades del sistema, sobredosis, etc.) en el Tanque 3.

Se controlaron las tasas de eliminación de DQO en ambos tanques durante la prueba. Además de la eliminación de DQO, se tabuló la cantidad promedio de sólidos suspendidos en licor de mezcla (SSLM) y de SV30 para evaluar aún más la eficacia del SP. Se descubrió que ambos tanques eran estadísticamente equivalentes en las tres mediciones, con la tasa de eliminación de DQO del Tanque 3 siendo 3 puntos porcentuales mejor (ver Tabla 3).

Planta N°. 3

El sistema de tratamiento de aguas residuales existente de la Planta N°. 3 utiliza 600 kg/día de fosfato diamónico (DAP) como fuente de fósforo para mantener una población microbiana sana para el tratamiento de aguas residuales. El efluente del establecimiento tiene una DQO de 200 mg/l. El objetivo de la planta era continuar reduciendo costos y mantener a la vez la misma eficiencia.

El establecimiento reemplazó 600 kg por día de DAP por una dosis diaria muy inferior de 75 kg de SP. Esta gran disminución de químicos redujo el espacio de almacenamiento necesario así como también los costos de mano de obra relacionados con el traslado y la dosificación del producto. Además, al utilizar SP, los costos químicos se redujeron más del 17%. También se mantuvo la eficiencia en el tratamiento, ya que la DQO del efluente continuó siendo de 200 mg/l. Además, después mejoró la actividad de la microbiología del fango, presentando un rebrote más vigoroso.

Conclusiones

El tratamiento de las aguas residuales es un área que por lo general atrae menos la atención de los dueños de las plantas que otras áreas operativas. Al mantener una población microbiana sana dentro de la porción biológica del sistema de tratamiento de aguas residuales, la planta de tratamiento puede garantizar que está funcionando al máximo de su rendimiento.

El fósforo biodisponible es absolutamente necesario para desarrollar y mantener una población microbiana sana en el sistema de tratamiento de aguas residuales. Al utilizar una fuente de fósforo biodisponible como Super Phos® con tecnología Tecnología Micro Carbono™, se mejora el rendimiento del sistema y a la vez se reduce en gran medida el volumen de fósforo

necesario y los niveles de fósforo resultantes en el efluente. Esto permite a los dueños de las plantas lograr el ahorro de costos que buscaban y mantener al mismo tiempo la efectividad operativa del sistema de tratamiento.

El Señor Whitmer es Senior Director de Ingeniería y la Sra. Jennings es Ingeniera Senior de Proyectos en Probiotic Solutions® (www.probiotic.com).

Referencias

1. Thompson G, Sawin J, Kay M, Forster CF. (2001). El tratamiento de efluentes de plantas de papel y pulpa/celulosa: reseña. *Bioresource Technology*, 77:274–286.
2. Suintio LR, Shiu WY, and McKay D. (1988). Análisis de la naturaleza y las propiedades de los químicos presentes en los efluentes de las plantas de pulpa/celulosa. *Chemosphere*, 17;7:1249–1290.
3. Kamali M, Khodaparast Z. (2015). Análisis de los desarrollos recientes sobre tratamientos de aguas residuales de plantas de papel y pulpa/celulosa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 114;326–342.
4. Tiku DK, Kumar A, Chaturvedi R, Dayal S, Manoharan A, Kuman R. (2010). Bioremediación holística de efluentes de plantas de pulpa/celulosa con bacterias autóctonas. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 64;173–183.
5. Tchobanoglous G, and Burton L. (1991). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, eliminación y reutilización*, 3ra. Edición, Rev. Serie McGraw-Hill en ingeniería ambiental y recursos hídricos, Metcalf & Eddy, Inc. p. 360–361.



**MICRO CARBON
TECHNOLOGY®**

Nuestros PROBIOTIC SOLUTIONS productos son muy eficaces y eficiente debido a nuestro sistema de entrega único.

info@probiotic.com, 1 (800) 961-1220