

La Bioaumentación ayuda a los Sistemas de tratamientos de efluentes

A medida que las restricciones ambientales se hacen más estrictas, muchos operadores de plantas de tratamiento de residuos industriales enfrentan niveles de cumplimiento que complicarán seriamente el funcionamiento de sus plantas. La bioaumentación puede ser la solución más viable hasta encontrar una solución final.

Por Michael H. Foster, BS y Rob Whiteman, PhD

El uso de microorganismos específicos para realizar transformaciones químicas ha sido aplicado en las industrias cervecera, farmacéutica y lechera. Los microorganismos también son componentes críticos en el tratamiento de aguas residuales¹ municipales e industriales.

En el tratamiento de aguas residuales, los microorganismos (principalmente bacterias) utilizan la materia orgánica soluble en el flujo residual como una fuente de nutrientes. Las bacterias consumen los compuestos orgánicos y los convierten en dióxido de carbono, agua y energía para producir nuevas células. Finalmente, los agentes contaminantes son convertidos en biomasa insoluble, la cual puede ser removida mecánicamente del flujo de residuos y eliminada.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son de muchos tipos y configuraciones, sin embargo esta discusión se centrará en el tratamiento aeróbico para sistemas industriales.

Dos de las categorías más comunes de los sistemas aeróbicos de tratamiento de aguas encontradas en plantas industriales son los sistemas de lagunas aireadas y el sistema de lodo residual activado.

En los sistemas aeróbicos, las bacterias aerobias utilizan oxígeno para la degradación de los compuestos orgánicos. Para que el sistema funcione, se deben controlar algunos parámetros. Entre estos parámetros, los más críticos son los niveles de oxígeno disuelto, nutrientes (amoníaco y fósforo) y pH. Las estrategias de control clásicas se han concentrado en el monitoreo y control de los parámetros del sistema con poca o ninguna atención a los mismos microorganismos.

Las Bacterias

Las bacterias tienen medidas típicas entre 1-2 μm de ancho y entre 2-20 μm de largo. Debido a su tamaño, forma y morfología tan pequeña, solo pueden ser examinadas utilizando un microscopio de alta resolución ($\times 1000$) además de técnicas de tinción. La técnica de tinción de Gram es el criterio básico utilizado para clasificar los grupos de bacterias ya sea como Gram positivas o negativas, lo cual indica una variación fundamental de la estructura de la pared celular. Las bacterias son también clasificadas utilizando otros criterios, tales como:

- * Utilización de oxígeno al degradar materia orgánica (si utilizan oxígeno se denomina aeróbicos, si metabolizan con o sin oxígeno, facultativos, y aquellas que no utilizan oxígeno, anaeróbicas);
- * Utilización de fuentes de carbono (orgánico - heterotróficas; dióxido de carbono - autotróficas); y
- * Crecimiento óptimo a diferentes temperaturas ² (termófilas - 55-75° C; mesófilas - 30-45° C; psicrófilas: obligadas - 15-18° C y facultativas - 25-30° C).

La mayoría de los sistemas aerobios de tratamiento de aguas residuales operan en temperaturas de entre

10-40° C y por lo tanto contienen principalmente bacterias mesófilas. Estas incluyen tanto los tipos Gram positivos como los Bacilos y los Gram negativos como las Pseudomonas.

Además, otros microorganismos interactúan para transformar la materia orgánica en biomasa nueva, dióxido de carbono y agua. Colectivamente, a estos microorganismos se les denomina biomasa.

La biomasa es la "fuerza de trabajo" de un sistema de tratamiento de aguas. En un estado dinámico de flujo, diferentes microbios mueren mientras que otros se desarrollan y se convierten en dominantes. Bajo condiciones adversas como un choque tóxico, ciertas poblaciones de bacterias pueden verse reducidas o eliminadas causando una calidad de efluente pobre. Ejemplo de este choque tóxico puede ser derrames de "licor negro" en las fábricas de papel o una alteración de proceso en una planta química que envía altos niveles de terpenos a la planta de tratamiento.

Históricamente, bajo tales condiciones, las plantas de tratamientos de aguas residuales se han recuperado de manera lenta. Los permisos del Sistema de Eliminación de Descargas Contaminantes Nacionales de Estados Unidos (NPDES por sus siglas en inglés) han sido frecuentemente violados o el proceso de manufactura detenido para evitar repercusiones legales por violaciones a permisos de la NPDES.

La industria de los aditivos biológicos comenzó a principios de los años 60 para solucionar los problemas de recuperación de biomasa lenta y para compensar las pérdidas de la población bacteriana. La aplicación de esta tecnología se denomina bioaugmentación.

Definición de los Términos

Con frecuencia los términos de bioremediación y bioaugmentación se utilizan de forma intercambiable. La bioremediación se define aquí como la utilización de microorganismos seleccionados para lograr una limpieza biológica de un área contaminada específica, tales como suelos o aguas; la bioaugmentación se define como la aplicación de microorganismos seleccionados para mejorar las poblaciones microbianas de una instalación de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de mejorar la calidad del agua o para disminuir los costos de operación. En otras palabras, la bioremediación trata con un área definida o proyecto, mientras que la bioaugmentación trabaja para el mejoramiento de un proceso continuo.

La bioaugmentación ha sido puesta en práctica desde los inicios de la década de los sesenta. Debido al frecuente mal manejo de aditivos o a la pobre documentación de los resultados, esta tecnología ha sido considerada como poco científica.

Una creencia prevalente es que, a través del tiempo, los microbios adecuados repoblarán el sistema y se aclimatarán al influente. Este planteamiento asume que la población nativa introducida por rutas tales como los sólidos llevados por el viento, el agua lluvia y el flujo de desechos vegetales influentes, contendrán siempre los organismos más adecuados. En realidad, aunque una población natural puede desarrollarse hacia una población aceptable, puede haber limitaciones de desempeño que solo pueden superarse a través de la introducción de cepas superiores de microorganismos.

En una cuenca de aireación de una planta de tratamiento de desecho industrial, uno puede esperar encontrar numerosas especies o cepas de bacterias. Esta diversidad bacteriana, es necesaria ya que diferentes tipos de bacterias degradan diferentes tipos de compuestos de manera más efectiva y eficiente.

Estas bacterias generalmente son adecuadas para manejar los contaminantes en el influente de residuo y se aclimatarán con el tiempo, para suministrar los resultados deseados, asumiendo que se aproxime a un estado de equilibrio operativo. Desafortunadamente, pocas plantas de tratamiento alcanzan este estado de equilibrio. Las características del influente pueden cambiar drásticamente de una semana a otra e inclusive día a día.

Estas variaciones pueden deberse a programas de procesamiento de distintos productos, derrames químicos en la planta productora o ineficiencia de los equipos de planta. Muchas poblaciones biológicas de las plantas de tratamiento nunca consiguen alcanzar poblaciones óptimas o diversidad de especies.

Sin la bioaumentación, la población nativa es de numerosos tipos de organismos. Algunos de estos organismos son más eficientes y efectivos que otros para degradar los diferentes compuestos y producir una biomasa asentable. En una población simple con tres tipos de organismos: A (organismos deseados), B (otros organismos nativos) y C (organismos bioaumentados seleccionados), el objetivo del programa de bioaumentación consiste en aumentar el crecimiento de la población A, establecer la selección de organismos de la población C y minimizar la población B.

Existe el interrogante de por qué los productos de bioaumentación deben alimentarse continuamente luego de la dosis inicial del producto. Debido a la alteración del sistema y cambios de composición del influente, se requiere una dosis de mantenimiento para asegurar la diversidad de la población.

El monitoreo adecuado del sistema utilizando procesos de control estadístico combinado con técnicas de análisis microbiológico, suministrarán la información que el asesor de la bioaumentación necesita para mantener la población deseada. Al utilizar técnicas microscópicas y técnicas avanzadas de cultivo en placa, el asesor puede correlacionar las características de las poblaciones bacterianas con el desempeño de la planta de tratamiento para un sistema particular de tratamiento de residuos. Ya que todo sistema es único la población óptima variará de planta en planta.

Productos

Los productos típicos de bioaumentación consisten en mezclas de varias cepas de microorganismos, usualmente bacterias u hongos. Los organismos se aíslan de la naturaleza y no se alteran genéticamente de ninguna manera. Son seleccionados a su habilidad de realizar ciertas funciones, tales como buenas habilidades de formación de flóculos para realzar el asentamiento o la habilidad de degradar compuestos específicos. Los productos se venden en variedad de formas, siendo las más comunes en organismos secos sobre un portador de salvado o en líquidos.

La selección de productos para una aplicación en particular depende de una combinación de estudios de tratabilidad y experiencias de campo en aplicaciones similares. Las muestras del influente de las aguas residuales y la biomasa de las cuencas de aireación se envían para una identificación de producto y trabajo de tratabilidad.

Generalmente, se requiere de una semana para terminar los trabajos de laboratorio. En algunos casos, donde la planta está en peligro de cometer violaciones, la implementación del programa debe empezar antes de recibir los resultados del laboratorio. En estos casos, la experiencia de aplicaciones similares es crítica para determinar el curso de las acciones iniciales. El trabajo de laboratorio se hará de forma simultánea y luego se utilizará para realizar ajustes al programa, si es necesario.

Más que solo los productos

Una bioaumentación exitosa requiere de un manejo integral del sistema. Si la población microbiana puede ser vista como una fuerza laboral, entonces el asesor o administrador del programa es responsable de mantener esta fuerza laboral productiva.

El administrador del sistema debe suministrar un ambiente de trabajo aceptable al controlar los parámetros claves del sistema, tales como el pH, la temperatura y los niveles de oxígeno. El debe compensarlos con nutrientes para asegurar un buen crecimiento y una población sana. Debe saber cuándo despedir trabajadores al desechar elementos para mantener la población joven y vital. Finalmente, debe saber cuándo contratar nuevos trabajadores y suministrar nuevas habilidades no existentes en su fuerza laboral. La bioaumentación es un mecanismo para suministrar estos trabajadores habilidosos.

Una parte crítica del éxito de un programa de bioaumentación es una aplicación adecuada. Como cada situación es única, es esencial que los productos sean apropiadamente aplicados. Los programas de bioaumentación deben ser implementados luego de estudiar todo el sistema, evaluando la mejor solución al problema y documentando el impacto del programa. La simple acción de vaciar un producto en un influente

no es bioaumentación.

El propósito de la bioaumentación es facilitar un cambio gradual en la población microbiana, no el de reemplazar la biomasa existente. El cambio de la población se debe alcanzar de una manera planeada y controlada para mantener la integridad del ecosistema microbiano. La sobrealimentación de microorganismos seleccionados puede resultar en una biomasa no mejor equipada para manejar la amplia gama de compuestos en el influente que la población original.

Comprobando los Resultados

La mayor dificultad en conseguir la aceptación de la bioaumentación como una tecnología válida es probar la causa y efecto de la adición de organismos específicos. La ciencia clásica instaría al cliente a realizar un experimento controlado de la aplicación de un programa de bioaumentación. En la realidad, esto es pocas veces posible, primero porque unas pocas plantas de residuos poseen sistemas idénticos lado a lado y separados, que permitan una prueba de enfrentamiento rigurosa; segundo, la bioaumentación es frecuentemente la última opción para salvar un sistema de una violación segura. Muchas veces, además de la bioaumentación se cambian otros parámetros del sistema, introduciendo nuevas variables en la ecuación.

Para documentar de manera eficiente el impacto de un programa de bioaumentación, los datos mensuales de la planta, anteriores a la implantación del programa, deben ser comparados a los datos luego de la implementación del programa. Para que una prueba de bioaumentación sea significativa la duración de la prueba debe ser entre tres y cinco veces del tiempo de tratamiento en un sistema de laguna o de cuatro a seis veces el tiempo de maduración (tiempo de retención en celda) de un sistema de lodos activados.

Ejemplos del impacto de una bioaumentación en plantas papeleras

Planta papelera 1, una de sus plantas de tratamiento de aguas residuales se enfrentaba a violaciones por BODs en su efluente. La rebaja de los BODs luego de implementar un programa de bioaumentación fue excepcional. De significación estadística es el hecho de que todas las variables operativas tales como el BOD entrante y del flujo fueron constantes antes y después de la aplicación del programa de bioaumentación.

Planta papelera 2, había problemas de BODs y desviaciones a los límites de Sólidos Totales Suspendidos (TSS). Para mantener la conformidad a las normas sobre TSS, se agregaban grandes cantidades de polímeros a los clarificadores finales. El programa de bioaumentación redujo ostensiblemente el uso de polímeros en los clarificadores. El costo del programa de bioaumentación resultó ser entre la mitad a la sexta parte del costo total mensual del uso de polímeros en los nueve meses precedentes a la implementación del programa.

Estos dos casos proveen ejemplos excelentes del tipo de documentación de causa y efecto que puede demostrarse con adecuada recolección y análisis de datos. En algunos casos, el programa puede ser detenido para confirmar la eficiencia del tratamiento. Sin embargo, una vez el problema ha sido resuelto, muchos usuarios son renuentes a dsicontinuar el programa y arriesgarse a un deterioro del sistema o a violaciones a los permisos.

Otros ejemplos donde la bioaumentación ha probado ser beneficiosa:

1) Remoción mejorada del DBO – A muchos sistemas, particularmente las lagunas aireadas con tecnología de los años 60 o 70, tienen exigencias de requisitos propios de los años 90. Costaría millones actualizar estos sistemas. Al aumentar la cantidad y diversidad microbiológica por medio de la bioaumentación se pueden conseguir los resultados deseados. En la industria papelera y de pulpa en el sureste de los Estados Unidos se han documentado mejoramientos de hasta un 30% en los niveles de BODs de los efluentes.

2) Mejora en el asentamiento de los sólidos- Un importante paso en el tratamiento biológico de residuos es la remoción de sólidos, usualmente asentados en una laguna o en clarificador. Las bacterias forman un

biopolímero natural que ayuda al asentamiento. Los choques tóxicos y los cambios al sistema pueden resultar en una población bacteriana con pobres características biopolímeras y por ende de asentamiento pobres. La metodología de agregar polímeros orgánicos o coagulantes inorgánicos como ayudas al asentamiento puede ser efectiva pero costosa. Al inocular al sistema organismos que se sabe, son resistentes a la toxicidad y excelentes formadores de flóculos, la demanda de polímeros comerciales puede ser reducida en gran medida o hasta eliminada.

Generalmente, el costo de una bioaumentación es significativamente más barato que un tratamiento con polímeros. Además, provee una biomasa global más sana.

3) Degradación preferencial de compuestos específicos - Al adicionar organismos seleccionados, se puede lograr bajos niveles de ciertos compuestos que no sería posible reducir con poblaciones nativas. Los compuestos tales como los fenoles, aromáticos clorinados o hidrocarburos aromáticos son solo algunos de los compuestos que pueden ser reducidos con la bioaumentación.

4) Nitrificación mejorada- Muchas plantas de tratamiento de residuos industriales tienen dificultades para lograr la nitrificación por limitaciones de diseño o choques tóxicos. Al agregar de manera regular, bacterias nitrificantes se puede mantener una población adecuada para la remoción de amoníaco.

5) Otras áreas- Otras áreas donde la bioaumentación ofrece beneficios incluyen la reducción de olores, remoción de aceites y grasas, reinicio rápido de sistemas sujetos a choques tóxicos o mayor tolerancia a los mismos. Adicionalmente, la investigación continúa para explorar nuevas áreas de aplicación para esta tecnología en desarrollo.

Sumario

A medida que las normas ambientales se vuelven más estrictas muchos operadores industriales se enfrentarán a niveles de acatamiento que retarán seriamente las capacidades existentes de sus plantas de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, la bioaumentación será una solución muy económica, a corto o mediano plazo con el fin de mantenerlos dentro de los límites permisibles hasta que se puedan realizar cambios en los sistemas. En otros casos, donde no se cuentan con fondos para implementar soluciones mecánicas la bioaumentación será una solución a largo plazo.

El concepto de administración efectiva de una población microbiana de una cuenca de aireación es una idea nueva. Requiere mucho más que la introducción de nuevos organismos a un sistema. La administración total del sistema requiere un conocimiento profundo de la operación y diseño de una planta de tratamiento de residuos, además de conocimientos de microbiología ambiental. Al combinar estas dos disciplinas de manera efectiva, el administrador de un sistema de tratamiento de residuos puede suministrar resultados óptimos para un sistema existente.

¹ Grady, CPL y Lim, HC, *Biological Wastewater Treatment, Theory and Application*, página 3.

² Stainer, RY; Doudoroff, M. y Adelberg, EA. *The Microbial World*, 3ra edición., Página 316.

Palermo, DR y Holzer, KA, Conferencia Ambiental TAPPI, 1992 Procedimientos, Vol.3, Página 881.
Whiteman, GR, Conferencia Ambiental TAPPI, 1992.