

4 INTRODUCCIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE XENOBIÓTICOS

Durante los últimos años la industria ha crecido en forma desmesurada creando una contaminación sin precedentes, para la cual, la sociedad no se encontraba preparada. Hoy en día contamos con miles de focos de contaminación, los cuales ya significan un gran problema para el medio ambiente y falta mucho para resolverlos.

Uno de los principales sistemas afectados es el acuático. Aún es común que las industrias desechen aguas sin tratar a ríos, lagos y mares. Esto trae como consecuencia, que dicha agua ya no se pueda reutilizar, y en ocasiones ni siquiera para su uso con animales o para el reigo. El ir agotando estas reservas de agua, significa un gran riesgo a mediano plazo. A pesar de que ya existen normas que intentan regular el desecho de contaminantes, las concentraciones permitidas suelen ser excesivas, además de que son fáciles de burlar y se olvidan del fenómeno de biomagnificación que sufren muchos de éstos compuestos (3).

Los compuestos xenobióticos, (de xenos que significa "extraño" o artificial) como los aromáticos clorados, son análogos orgánicos los cuales tienen sustituciones especiales (principalmente halógenos) o estructuras complejas, que los hacen ser recalcitrantes, es decir resistentes a la biodegradación, lo que por un lado son de uso importante a nivel industrial, pero por otro representan una fuente de contaminación ambiental. Sin embargo pueden existir diferentes métodos fisicoquímicos y biológicos que pueden eliminar estos compuestos, por lo que es importante el entendimiento científico de los xenobióticos, y lo único que hay que hacer es investigar estos compuestos para evitar su biomagnificación y para prevenir impactos ecológicos (3).

4.2 BIOMAGNIFICACIÓN Y PERSISTENCIA DE XENOBIÓTICOS

Si las condiciones ambientales son favorables todos los compuestos orgánicos naturales son degradables (3).

Un gran número de contaminantes, especialmente los análogos a compuestos naturales pueden ser degradados o removidos por microorganismos de suelo o agua, pero los compuestos xenobióticos son removidos lentamente y suelen acumularse dañando el ambiente (7).

La evolución del metabolismo de los microorganismos no ha ido a la par del desarrollo de nuevos compuestos sintéticos, por lo que la eliminación de los mismos ya no ocurre de forma natural provocando acumulaciones. La mayoría de los compuestos sintéticos que tienen estructuras sencillas o son parecidos a compuestos naturales pueden ser objeto a degradación por parte de los microorganismos, pero algunos compuestos presentan estructuras moleculares o enlaces químicos que las enzimas de los microorganismos no pueden degradar (3). Esto explica por qué la mayoría de estos compuestos son recalcitrantes. Enlaces y sustituciones inusuales, así como anillos aromáticos altamente condensados o de elevado peso molecular, suelen ser los factores que impiden la biodegradación de los xenobióticos.

Los xenobióticos, que además de ser persistentes son lipofílicos, suelen sufrir el fenómeno de biomagnificación, debido a que dichos compuestos, permiten que cantidades mínimas disueltas en agua, se concentren en la parte lipídica tanto de células eucariotas como de procriotas, elevándose la concentración, respecto al agua circundante, hasta en tres ordenes de magnitud (3). Un ejemplo que ilustra este fenómeno son los ftalatos, que a pesar de que presentan baja toxicidad, a concentraciones incluso inferiores a 3 ppm, se ha observado que reducen la tasa de reproducción de ciertos crustáceos(13). Su biomagnificación, como es de esperarse, aumenta conforme va aumentando la cadena alimenticia.

4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS

El tratamiento de aguas residuales suele involucrar tres fases. En la primaria y la secundaria, el objetivo principal es la eliminación de sedimentos, así como la reducción del DBO. Para estas etapas se utilizan principalmente filtros de distinta índole, así como lodos activados y reactores anaerobios. La fase terciaria es la que se encarga de la eliminación de compuestos recalcitrantes como es el caso de los xenobióticos. Para la tercera etapa se utilizan tanto métodos fisicoquímicos como microbiológicos. En la tercera etapa, también se suele incluir la eliminación de microorganismos con potencial de presentar patogenicidad (11).

4.3.1 MÉTODOS FISICOQUÍMICOS

Durante mucho tiempo, las aguas residuales se han tratado con métodos químicos y físicos para su liberación a ríos y lagos, o para su reutilización industrial. A pesar de que muchos de estos métodos son muy efectivos, en ocasiones suelen ser insuficientes, inespecíficos y costosos (11).

Ya desde los años 70's se vienen utilizando métodos de almacenamiento prolongado, filtros de arena, coagulación, etc. (17). Pero estos métodos han ido cayendo en desuso, debido a que se requieren grandes extensiones de terreno, además de que la mayoría de ellos son extremadamente lentos o costosos.

En los últimos años se han utilizado procesos de incineración así como tratamientos químicos para degradar compuestos tóxicos. Pero además, de su elevado precio, es común que estos métodos arrojen otros contaminantes al medio ambiente (11).

4.3.2 MÉTODOS BIOLÓGICOS

Los métodos biológicos presentan la gran ventaja de que son más específicos, más baratos y suelen desechar, al final, menos productos contaminantes. Pero presentan la desventaja de tener mucho más limitaciones que los métodos fisicoquímicos.

4.3.2.1 Lodos Activados

El sedimento que se produce después del tratamiento primario posee gran actividad metabólica y se aprovecha para la futura eliminación de compuestos orgánicos. A esta herramienta se le denomina lodo activado. En su mayor parte consta de bacterias heterótrofas como Bacilos gramnegativos, coliformes como *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacterium*, *Zoogela* aislada, *Micobacterium*, *Coryneformes*, hongos filamentosos y levaduras. El proceso de lodos activados es de cultivo continuo (3).

Los lodos activados suelen constar de fases aerobias y anaerobias. La manipulación de éste método debe realizarse de forma cautelosa ya que llegan a contener gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden representar un foco de infección (3).

4.3.2.2 Biorremediación

La nueva tendencia es tratar el agua residual mediante procesos de biorremediación. Los mismos microorganismos que se encuentran nativamente en ríos y lagos de la zona pueden ser utilizados, bajo condiciones controladas, para oxidar rápidamente materia orgánica en productos inocuos que se pueden liberar al medio ambiente para concluir así su degradación (8).

El término de biorremediación se utiliza para describir la eliminación de desechos tóxicos por medio de agentes naturales (3).

Los procesos de biodegradación deben de ser controlados, además de realizar suficientes pruebas y determinaciones en el laboratorio, ya que éstos procesos pueden generar compuestos más tóxicos. El mercurio, por ejemplo, puede atravesar con cierta inocuidad el tracto gastrointestinal del hombre, sin embargo puede causar intoxicación al ser inhalado. En forma de metil-mercurio, transformado por microorganismos del sedimento, es altamente tóxico y capaz de causar daño cerebral irreversible (13). Los fenoles por otro lado, presentan una alta toxicidad hacia el hígado, riñones y sistema nervioso central. También se le atribuyen cuadros leucémicos y daño cromosomal. El nivel permisible de concentración es 1 ppm (7).

La biorremediación aún no se puede considerar como la panacea, ya que tiene muchas limitaciones que no se deben olvidar, como se menciona a continuación (7).

- ◆ Un único microorganismo no puede degradar todos los residuos orgánicos.
- ◆ Es frecuente que concentraciones altas de los compuestos a degradar, inhiban el crecimiento del microorganismo y por consiguiente la actividad del mismo.
- ◆ Por lo general, los sitios contaminados contienen una mezcla de muchos compuestos y aunque el microorganismo tenga un amplio poder de degradación, suele ser inhibido por alguno de los compuestos químicos.
- ◆ Cuando los compuestos contaminantes son no polares, es común que se adhieran a superficies del sedimento evitando así que la bacteria tenga contacto a ellos.
- ◆ La biodegradación suele ser lenta.

A pesar de estas desalentadoras limitantes hay procedimientos que pueden ayudar a evitarlas o aminorarlas.

4.4 BIODEGRADACIÓN DE XENOBIOTICOS

Los compuestos que en su esqueleto tengan la estructura carbono-halógeno, generalmente son muy estables, esto los convierte en una herramienta práctica en la industria, ya que se usan como conservadores, por ejemplo. Por otro lado representa un problema a la hora de su eliminación. Esto hace que clorofenoles y benzofenoles tengan características recalcitrantes. No obstante se ha encontrado que en concentraciones moderadas existen microorganismos capaces de consumir estas sustancias, tal es el caso de algunas bacterias del género *Pseudomonas* (3).

La bacteria degradadora convierte a los compuestos xenobióticos aromáticos no halogenados en catecol o en protocatechuate. Posteriormente por reacciones oxidativa los lleva hasta acetil coenzima A y succinato, o piruvato y acetaldehído. Estos cuatro compuestos son degradados

con facilidad por casi todos los microorganismos. En el caso de que contengan sustituciones de halógenos, la degradación los lleva también a catecol, protocatechuate, hidroxiquinonas o los derivados halogenados correspondientes, a través de las mismas enzimas. Pero a medida que aumenta la halogenación disminuye el grado de degradación. La deshalogenación se considera por consiguiente como el paso determinante de la destoxicación. Generalmente enzimas del tipo diooxigenasas no selectivas sustituyen al halógeno del anillo de benceno por un grupo hidroxilo (10).

4.5 DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La demanda bioquímica de oxígeno muestra la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, por microorganismos. Este consumo de la materia orgánica lo realiza la microbiota nativa o en caso de que la muestra no contenga microorganismos, se le puede agregar un inóculo para este propósito. En el caso del agua tratada en este trabajo no fue necesario utilizar un inóculo adicional.

Las mediciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) deben de ir acompañadas de mediciones de la demanda química de oxígeno (DQO), ya que son complementarias. Como se mencionará más adelante, el DQO mide el contenido total de materia orgánica, mientras que el DBO mide solo la materia orgánica biodegradable. Esto quiere decir que la resta del resultado de DBO al de DQO nos da la materia orgánica no biodegradable que contiene nuestra muestra.

La demanda química de oxígeno muestra la cantidad de materia orgánica que contiene la muestra. Esto es determinado mediante un método de análisis espectrofotométrico, que está en función de la cantidad de dicromato consumido en este proceso.

4.6 PRODUCCIÓN DE PAPEL

De las industrias contaminantes en México, las del papel, celulosa y madera ocupan el primer lugar en la producción de compuestos contaminantes, con un 32.4% del total (16).

El papel se obtiene a partir de la pulpa, este es un material crudo, fibroso y generalmente de origen vegetal. La pulpa puede ser obtenida por distintos tratamientos. Estos son: de madera molida, de bisulfito de calcio, de pasta de sosa y la pulpa de pasta de sulfato. los productos del proceso de la fabricación del papel son la lignina, los extractivos, la hemicelulosa y la celulosa (15). La pulpa se obtiene principalmente por dos métodos. El método Kraft, en donde la fragmentación de lignina se produce por ataque alcalino de NaOH y Na₂S, la cual produce derivados fenólicos más pequeños. El papel obtenido por éste método es fuerte y de alta calidad. Por otro lado, el proceso de sulfito requiere un ataque ácido con H₂SO₄. Este proceso da un papel más débil, pero más fácil de blanquear (16).

Kimberly Clark S.A. de C.V. utiliza bagazo de caña, para la obtención de celulosa mediante el método Kraft.

La industria papelera, debido al proceso de blanqueado, arroja varios productos que presentan alta toxicidad. De éstos productos, un parte pequeña pero significativa logra escapar de su tratamiento de degradación y sería arrojada al efluente de la empresa, por lo cual es necesario contratar los servicios de FIRIOB, una planta de tratamiento de aguas. FIRIOB utiliza métodos fisicoquímicos en el tratamiento de aguas residuales.