

Estado Libre Asociado de Puerto Rico
Oficina de la Gobernadora
Junta de Calidad Ambiental

CONTAMINACIÓN DE AGUA

Revisión de abril de 2003

CONTAMINACION DE AGUA

I. Características y causas de la contaminación de agua

A. El concepto de la contaminación

Por contaminación de agua entendemos la adición de sustancias a un cuerpo de agua que deteriora su calidad, de forma tal que deja de ser apto para el uso que fue designado. La materia extraña contaminante puede ser inerte como los compuestos de plomo o mercurio o viva como los microorganismos. En su sentido amplio, podemos definir contaminación de agua como: hacer que las aguas no sean aptas para algún uso particular. Mientras que para un ama de casa, contaminación de agua puede significar mal sabor, malos olores o que el agua cause enfermedades intestinales, no así lo visualiza un industrial o un agricultor. Para un industrial, contaminación de agua puede significar el que se afecte la tubería de la caldera de su industria y para un agricultor el que el agua contenga cantidades extraordinarias de sal que no permita su uso para riego o para consumo animal. El concepto de contaminación de agua es relativo y está íntimamente relacionado con el uso propuesto del agua.

B. Causas naturales de la contaminación de agua

Los cuerpos de agua naturales como los ríos, lagos, mares y estuarios tienen la capacidad de limpiarse a sí mismos sin ayuda del hombre. Esta capacidad de las aguas es limitada debido a que los niveles de autopurificación están determinados por el volumen de los cuerpos de agua, la cantidad de bacterias y organismos que viven en las aguas y las cantidades de contaminantes que llegan a éstas. Un cuerpo de agua

de gran tamaño puede diluir un contaminante hasta el límite de que dicho contaminante no le haga daño a los organismos que habitan en el cuerpo de agua. También, un cuerpo de agua de gran tamaño contiene grandes cantidades de oxígeno el cual es necesario para que las bacterias descompongan los contaminantes que llegan al cuerpo de agua. Los microorganismos que habitan el cuerpo de agua son los encargados de descomponer los compuestos contaminantes y convertirlos en formas químicas que pueden ser utilizados por las plantas y por los animales. No obstante, si las cantidades de contaminantes que llegan al cuerpo de agua son tales que no pueden ser atacados y descompuestos por el número de microorganismos que habitan el cuerpo de agua, dichos contaminantes permanecen en el cuerpo de agua y evitan el crecimiento de la flora y la fauna natural. Esto es, causan contaminación. Casi todas las aguas naturales mantienen una flora compuesta por microorganismos, tales como los protozoarios y bacterias aeróbicas.

Los protozoarios se alimentan de bacterias y algunas de éstas se alimentan de materia orgánica disuelta o suspendida en el agua. La materia orgánica que consumen las bacterias pueden provenir del cuerpo de agua en sí o de descargas de aguas usadas de industrias o domicilios. Tanto las bacterias como los protozoarios consumen oxígeno durante su respiración y reproducción. Cuando las descargas de aguas usadas contienen grandes proporciones de materia orgánica (contaminante), las bacterias tienen suficiente alimento para reproducirse en grandes cantidades y consumir todo el oxígeno disponible.

Una vez consumido el oxígeno, tanto las bacterias aeróbicas como los protozoarios mueren. Al morir los protozoarios y las bacterias aeróbicas, se desarrollan en el

cuerpo de agua otras bacterias conocidas como bacterias anaeróbicas que no necesitan del oxígeno para su alimentación y reproducción.

En el proceso de alimentación las bacterias anaeróbicas utilizan nitratos y sulfatos en lugar de oxígeno. De la utilización de los sulfatos resulta el sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas pestilente. El sulfuro de hidrógeno es el responsable de la pestilencia de algunas aguas contaminadas. Los fenómenos que contribuyen a degradar las aguas son los mismos que a la larga las purifican. Tanto las bacterias aeróbicas como las anaeróbicas posteriormente destruyen la materia orgánica al utilizarla y la convierten en bióxido de carbono, el cual luego se dispersa en la atmósfera con el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno.

Una vez destruida la mayor parte de la materia orgánica, se reduce el ritmo de consumo de oxígeno, lo que permite el desarrollo de la fauna en los cuerpos de agua. Otro componente de la flora acuática son las algas. Contrario a los protozoarios y bacterias, las algas convierten el bióxido de carbono y los bicarbonatos en materia orgánica y oxígeno con la ayuda de la luz solar (fotosíntesis).

La materia orgánica producida por las algas son utilizadas por estas mismas para alimentarse y reproducirse invirtiendo el proceso. En un cuerpo de agua turbia, el crecimiento de las algas es limitado debido a la poca luz solar disponible.

Como hemos visto, el crecimiento de bacterias tiende a destruir los contaminantes orgánicos, mientras que el crecimiento de las algas tiende a crearlos. Cuando el crecimiento de las algas no es excesivo resulta beneficioso, ya que la fauna del cuerpo de agua se alimenta de ellas. Cuando el crecimiento de algas es excesivo, éstas

mueren y se hunden dando lugar a que las bacterias aeróbicas las utilicen, iniciándose así otro ciclo de respiración.

C. Causas de contaminación no naturales

1. Descargas domésticas – En Puerto Rico, una parte de los desperdicios sanitarios generados por la población que no recibe servicio de alcantarillado sanitario, descargan en los cuerpos de agua contaminándolos.

Por otra parte, aún los desperdicios generados por la población que cuenta con servicio de alcantarillado sanitario no siempre reciben el tratamiento adecuado y son depositados en los cuerpos de agua contaminándolos. Esto afecta mayormente a la zona rural, donde una parte de la población carece de servicios de agua potable y consume las aguas de ríos y quebradas contaminadas.

2. Descargas industriales – En la Isla existe una gran cantidad de industrias que descargan sus desperdicios líquidos a los cuerpos de agua superficiales y costaneros. La mayoría de estas industrias se encuentran localizadas en la costa de la Isla donde también se encuentra ubicada la mayor parte de la población. Dependiendo de la naturaleza de la industria y el uso que tenga el cuerpo de agua receptor, se determina qué clase de contaminante será necesario remover de las aguas servidas antes de llegar éstas al cuerpo receptor.
3. Desperdicios agrícolas – Los desperdicios provenientes de granjas porcinas, avícolas y lecheras constituyen las principales fuentes de

contaminación agrícola en los cuerpos de agua. Mediante estudios realizados en el pasado se ha corroborado que los desperdicios provenientes de animales en Puerto Rico son equivalentes a los desperdicios de 6 millones de personas.

Otra fuente de contaminación de agua proveniente de la agricultura son los fertilizantes. El alto contenido de fósforo y nitrógeno de los fertilizantes son los dos principales nutrientes de las algas. También los plaguicidas y yerbicidas utilizados en la agricultura llegan a los cuerpos de agua contaminándolos. Los compuestos orgánicos presentes en estos contaminantes son tóxicos y causan frecuentemente la muerte a la vida acuática.

4. Sedimentación y erosión – Los sedimentos arrastrados por la erosión contribuyen en forma significativa al deterioro de las aguas superficiales. Los sedimentos provienen principalmente de los terrenos cultivados, del terreno no protegido en los bosques, de las carreteras en construcción y de las áreas urbanas donde la vegetación ha sido removida. Además, la sedimentación causa una merma en la capacidad de almacenamiento de nuestros embalses.
5. Petróleo y otras sustancias peligrosas – Los derrames de petróleo en los puertos y bahías de la Isla, el aceite automotriz desechado por gasolineras, los terminales de petróleo, las tuberías de transporte de gasolina y las facilidades para almacén de carga pesada, todas constituyen potenciales fuentes de contaminación de nuestros cuerpos de agua.

Existen pocas facilidades para disponer de estos desperdicios. Las plantas convencionales de tratamiento de aguas usadas no pueden procesarlos y sólo un número limitado de industrias tienen las instalaciones especiales necesarias para ello.

II. Principales contaminantes de agua

Existen tres parámetros principales o formas básicas para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua. Estos parámetros son: el número de bacterias coliformes existentes, cantidad de oxígeno disuelto en el agua y PH.

A. Número de bacterias coliformes existentes

El número de bacterias coliformes existentes en los intestinos de los animales de sangre caliente y en los suelos nos indica la probabilidad de que los cuerpos de agua contengan contaminantes patógenos.

Las principales fuentes de bacterias coliformes son las descargas sanitarias, tanto de hogares y negocios, como de sistemas municipales de recolección de aguas usadas.

B. Cantidad de oxígeno disuelto en el agua

Las principales causas contribuyentes a la reducción de oxígeno en el agua son la contaminación por materia orgánica y las descargas industriales cerca de la riberas de los cuerpos de agua. También factores físicos como el estancamiento contribuyen al agotamiento de oxígeno.

C. Fertilizantes y plaguicidas

Los fertilizantes, tanto naturales como artificiales, utilizados en la agricultura constituyen una fuente potencial de contaminación de agua. Las prácticas de

ganadería generan grandes cantidades de materia fecal, las cuales son arrastradas por las aguas de lluvia hasta los cuerpos de agua. También con el lavado de canales se producen efluentes con estiércol que son descargados a los cuerpos de agua. Dichos fertilizantes contienen nitratos y fosfatos que sirven de nutrientes a las algas y otras plantas acuáticas. Altas concentraciones de nitrato en los cuerpos de agua causan metemoglobinemia infantil, enfermedad congénita conocida comúnmente como “bebé azul”.

Por otro lado, los plaguicidas utilizados en la agricultura muchas veces son arrastrados hasta los cuerpos de agua en la misma forma que los fertilizantes. Una vez en los cuerpos de agua, los plaguicidas se descomponen y/o se adhieren a los sedimentos que contenga el cuerpo de agua. También pueden adherirse a los tejidos grasos de animales acuáticos. El consumo humano de dichos animales acuáticos como peces y crustáceos hacen que se acumulen los plaguicidas en nuestros tejidos grasos y en la leche materna. También, si el ganado vacuno consume agua contaminada con plaguicidas, éstos llegan al ser humano mediante el consumo de leche.

D. Contaminación por sólidos suspendidos

La erosión de los terrenos, bien sea por desarrollo de obras de construcción, por arado de terrenos o por desarrollos urbanos, constituyen la principal fuente de contaminación de agua por sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos provenientes de la erosión son depositados por las aguas de escorrentía en los lechos de los ríos y en el fondo de las represas y lagos contaminándoles. El ritmo de erosión depende de la clase de actividad que se lleve sobre el terreno,

la cantidad de vegetación existente, la cantidad de lluvia, de la inclinación del terreno y de la exposición de los terrenos a la escorrentía.

Los sólidos suspendidos imparten turbiedad al agua haciéndola no apta para algunos usos como recreación, además de hacerlos estéticamente inaceptables.

E. Metales

Ciertas formas de contaminación química del agua provienen de descargas con compuestos metálicos provenientes de diferentes industrias. Las descargas más tóxicas son las que contienen cromo, cadmio, zinc, plomo y mercurio.

III. Técnicas de control de contaminación de agua

Además de las medidas preventivas que se utilizan con el propósito de mantener los cuerpos de agua libres de contaminación como son la educación e información, la tecnología moderna ofrece una serie de técnicas que pueden ser utilizadas para dar tratamiento a aguas contaminadas. A continuación se describen los principales métodos de tratamiento de aguas usadas:

A. Tratamiento primario – bajo este método se utilizan tres técnicas a saber: tanques de sedimentación, cámara de arena o rejillas.

1. tanques de sedimentación primaria – en el tratamiento de aguas contaminadas, el primer paso es la aplicación del principio físico-químico de la sedimentación. Durante la sedimentación los sólidos suspendidos se depositan en el fondo del tanque que contiene el agua contaminada o sobre cualquier otra superficie que esté más o menos paralela al horizonte. Mientras más pequeñas sean las partículas que

contengan el agua, mayor será el tiempo que toma la sedimentación. Una vez los sólidos suspendidos son depositados en el fondo de los tanques de sedimentación mediante mecanismos automáticos que estos poseen, se recogen y se transfieren a otro tanque digestor de lodos anaeróbicos, el cual se discutirá más adelante.

2. rejillas – las aguas de los sistemas de recolección arrastran objetos de toda clase: latas, pedazos de tela, objetos plásticos y otros. Estos se introducen en el sistema de recolección por diferentes medios, pero principalmente a través de alcantarillas sin tapar y los inodoros. A mayor tamaño de los objetos, con más rapidez requieren ser removidos a través de rejillas. Las rejillas son utilizadas con anterioridad a los tanques de sedimentación y no es necesario su uso si las aguas son tratadas en el lugar de origen. Generalmente, esta técnica es utilizada por los sistemas de recolección de aguas.
3. cámara de arena – la cámara de arena es utilizada principalmente en aguas sanitarias e industriales que han pasado por un sistema de recolección municipal o regional sin haber sido tratadas en su punto de origen. Cuando el agua del sistema de recolección descarga en la cámara de arena, se encuentra con presiones de aire que salen desde el fondo de la cámara a través de una red de tubos perforados. Las presiones de aire desprenden el material adherido a los granos de arena. Tanto los chorros de aire como la turbulencia dentro de la cámara deberán ser ajustados para que los granos de arena floten

hasta la mitad de la profundidad de la cámara. El ajuste evita que los granos de arena se desborden con el agua y a la vez permite que la materia desprendida sea arrastrada debido a que es más liviana o pequeña que los granos de arena. En resumen, el orden para el tratamiento primario de aguas es el siguiente:

rejilla-----cámara de arena-----tanque de sedimentación

B. Tratamiento secundario – al igual que el tratamiento primario de aguas contaminadas, el tratamiento secundario está compuesto de una serie de técnicas a saber: filtro de goteo, lodos activados y digestor de lodos anaeróbicos.

1. filtro de goteo – mediante esta técnica el agua contaminada pasa uniformemente sobre un lecho de piedras de 2 ½ a 3 pulgadas de diámetro. La profundidad del lecho de piedras puede variar entre 6 y 10 pies y el área a cubrir depende del flujo de agua y de la concentración de demanda bioquímica de oxígeno del efluente. A medida que el agua contaminada pasa sobre las piedras, la materia orgánica se adhiere en la superficie de éstas, dando lugar al crecimiento de organismos como la bacteria zooglea ramiguera, los cuales forman un limo verdoso. El drenaje bajo el lecho de las piedras consiste de laterales que conducen el agua filtrada y las capas de zooglea que se desprenden hasta un tanque de sedimentación.
2. lodos activados – otra técnica para reducir contaminantes en el agua es utilizar dos tanques de sedimentación que constantemente

intercambien los efluentes con el propósito de que el oxígeno del aire se difunda constantemente en el líquido. El batir constantemente los efluentes en los tanques desarrollan unas capas de zooglea igual a las de los filtros de goteo, pero sin adherirse a ninguna superficie. Después de transcurrido el periodo de agitación, el agua se derrama hasta un tanque de sedimentación secundario de suficiente capacidad para que haya poca agitación del agua y las capas de zooglea puedan crecer y sedimentarse en forma de lodos para luego ser removidos automáticamente. Del total de lodos removidos, el 70% van a un tanque de digestión anaeróbica y el resto del lodo se recircula hasta el tanque donde se bate el líquido. La recirculación del 30% del lodo sirve como semilla o pie y acelera el crecimiento de zooglea nuevamente. Al crecimiento rápido y activo es lo que se conoce como lodo activado.

3. digestor de lodos anaeróbicos – como se señalara anteriormente, los lodos de los tanques de sedimentación primario y secundario llegan hasta un tanque de digestión anaeróbica. Debido a que los lodos emiten olores desagradables, estos son almacenados durante dos meses en tanques de digestión anaeróbica. Durante este tiempo casi todo el azufre de la materia orgánica se convierte en sulfuro de hidrógeno que en forma controlada llega a la atmósfera. Para que el tanque de digestión funcione adecuadamente es necesario excluir totalmente el oxígeno de éste, de tal forma que el sulfuro de hidrógeno y otros gases

que se generen en el tanque puedan salir sin permitir que entre aire al mismo. Dentro del digester existen dos zonas, una cerca del fondo, donde el fango digerido es más sólido y otra cerca de la superficie, donde se encuentra el líquido del digester con la menor cantidad de sólidos suspendidos. Entre las dos zonas se encuentran las entradas del fango de los tanques de sedimentación y la salida del líquido que se va acumulando. El fango digerido se saca por tubos del fondo del digester para ser conducido a los lechos de secado. El líquido que se extrae del digester es conducido hasta el efluente de la planta de tratamiento de aguas, debido a que éste contiene una concentración de demanda bioquímica de oxígeno y de sólidos suspendidos muy alta.

C. Técnica de tratamiento terciario de aguas usadas – el tratamiento terciario se aplica a los efluentes de tanques de sedimentación secundario. El tratamiento es variado dependiendo del contaminante de agua que se desea remover. Aún para remover un mismo contaminante existen varios métodos de tratamiento terciario como lo son: carbón activado, remoción de nutrientes, coagulación química, filtros de arena y otros.

1. carbón activado – se utiliza para remover el remanente de materia orgánica del efluente de tanques de sedimentación secundaria. Para ello se utilizan columnas de algún material rellenas de carbón activado en granos. Mientras el líquido fluye a través de las columnas, la materia orgánica se adhiere a los granos de carbón. Mediante este proceso el agua que se obtiene es de buena calidad, pero no puede

considerarse potable a menos que si antes de pasarla por las columnas, ésta es congelada químicamente, se filtra por lechos de arena y finalmente se le aplica cloración. Una forma más efectiva de utilizar el carbón activado es aplicándolo en polvo directamente al agua, para luego removerlo mediante filtros de arena. No obstante, resulta ser más costoso debido a que el carbón activado en polvo no se puede regenerar como en el caso de carbón activado en granos.

2. remoción de nutrientes – parte de los nutrientes contenidos en las aguas sanitarias se remueven en conjunto con los fangos durante el tratamiento primario y secundario. El remanente sale con el efluente del tanque de sedimentación secundaria en forma de nitratos y fosfatos. Debido a que los nutrientes estimulan el crecimiento de plantas acuáticas se hace necesario removerlos anterior a disponer finalmente de las aguas tratadas.
3. coagulación química – esta técnica se utiliza para remover algunos contaminantes disueltos y todos los suspendidos. La coagulación química se logra añadiendo al agua cantidades de cal o carbonato de sodio. En ocasiones hay que combinar tanto alumbre como mezclas de carbonato y cal para lograr la coagulación adecuada. Si el contaminante a ser removido es fosfato, basta con añadir cal la mayoría de las veces. Al añadir cal se forma fosfato de calcio, el cual es insoluble lo que facilita que se coagule y se precipite formando

capas, las cuales se sedimentan fácilmente. El precipitado que no se sedimenta puede ser removido mediante un filtro de arena.

4. filtro de arena – los filtros de arena se consideran el paso final en el tratamiento terciario de aguas. Una vez el agua es filtrada a través de lechos de arena, puede considerarse de muy buena calidad y potable una vez se le añade cloro.
5. otras técnicas de tratamiento terciario – además de las técnicas antes discutidas, existen otros métodos de tratamiento terciario de aguas como son los filtros de agua granulares y los filtros de tierra. La diferencia entre este método y el de filtros de arena es que el material utilizado es diferente a la arena.