

Capítulo 3

CONTROL DE LA CONTAMINACION

Los residuos descargados por fuentes puntuales y no puntuales, generalmente contienen diferentes contaminantes que hacen que estos efluentes resulten inadecuados para su uso posterior, a menos que sean tratados o pasen por algún otro tipo de control. Por lo tanto, el objetivo básico del control de la contaminación, es reducir la concentración de contaminantes hasta niveles que no interfieran con el empleo provechoso de las aguas receptoras por parte de los usuarios.

Normas de Calidad del Agua

El control de la contaminación es necesario para proteger el medio ambiente acuático y mantener una calidad de agua aceptable en lagos, reservorios, corrientes, estuarios, océanos y aguas subterráneas. El primer paso que se debe tomar en la determinación del grado de tratamiento y de otras medidas requeridas para propósitos de control de la contaminación, es el establecimiento de normas de calidad del agua. Estas normas dependerán a su vez de los usos que se pretenda dar a las aguas receptoras, tales como - abastecimiento de agua potable, natación y otras actividades recreativas, pesca, mantenimiento de la vida silvestre, usos industriales y otros.

Las normas de calidad del agua generalmente toman una de las siguientes dos formas: normas para aguas receptoras y normas para efluentes.

Cuando se utilizan normas para aguas receptoras, las corrientes de agua se clasifican en diferentes categorías, según el uso más provechoso. Con este método es difícil garantizar el cumplimiento de las normas, pues no se puede asignar responsabilidad a una fuente específica cuando el efecto combinado de varias descargas excede la capacidad asimilativa del curso receptor, dando lugar a que las normas no se cumplan. De igual manera, es posible que la descarga ubicada en el punto más distante aguas arriba, aproveche un porcentaje mucho mayor de la capacidad de autopurificación de la corriente, dejando muy poca o ninguna para las descargas situadas aguas abajo.

Las normas para efluentes, como su nombre lo indica, son restricciones impuestas a los efluentes, que deben ser cumplidas por cada fuente específica en el punto de descarga. Las normas deben ser lo suficientemente estrictas para proteger la calidad de las aguas receptoras y, al mismo tiempo, poder ser aplicadas sin distinciones a cada uno de los vertimientos. Con este método, la institución reguladora puede delimitar más fácilmente la responsabilidad y tomar las medidas necesarias cuando se haya excedido la capacidad asimilativa de los cursos receptores.

En algunos casos, puede ser deseable contar con ambos tipos de normas, pero ellas deberán ser consideradas complementarias y de ninguna manera opuestas.

Al establecer las normas, deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones básicas. Los aceites, grasas y sólidos flotantes deben ser eliminados de las aguas residuales antes de la descarga. También deben eliminarse otros sólidos que puedan sedimentarse y formar bancos de lodo. Para garantizar el mantenimiento de los niveles adecuados de oxígeno debe removerse la materia orgánica degradable.

Cuando estén comprometidos abastecimientos de agua potable, playas de balnearios, ganadería o deportes de contacto, el contenido bacteriano de las aguas receptoras es muy importante. También se debe prestar atención a las descargas de agua caliente (como aguas de refrigeración no contaminadas), las cuales después de la mezcla inicial, no deben incrementar la temperatura de la masa principal de las aguas receptoras por encima de los 35°C, para evitar efectos negativos en los peces.

Las restricciones o normas para efluentes deben establecerse en concordancia con las condiciones locales. Por ejemplo, en el caso de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, generalmente se acepta que en el tratamiento primario, la demanda bioquímica de oxígeno y la concentración de sólidos suspendidos sean reducidas en un 35 a 40% (como promedio mensual). En el tratamiento secundario, la reducción debe estar en el rango del 85-90%.

Las normas para efluentes industriales que se sugieren para el caso de proyectos del Banco Mundial, pueden encontrarse en el documento Environmental Guidelines citado en la Bibliografía.

Tecnología de Control y Tratamiento

Las aguas residuales descargadas por grandes o pequeños centros poblados deben ser finalmente retornadas a los cursos receptores o al suelo. Los contaminantes que deben eliminarse y el grado de remoción antes de la descarga deben ser determinados en cada caso y dependerán en gran medida de las condiciones locales.

El Cuadro 3.1 muestra los procesos unitarios adecuados para la remoción de los contaminantes encontrados con mayor frecuencia en las aguas residuales.

Aguas Residuales Domésticas

Como se indicara previamente, las aguas residuales domésticas son aquéllas provenientes principalmente de las actividades caseras, con alguna adición de descargas comerciales y cantidades variables de aguas residuales industriales. El tipo de instalaciones de tratamiento

Cuadro 3.1 - Procesos de Tratamiento Recomendados para la Remoción de los Contaminantes Más Frecuentes Presentes en las Aguas Residuales (a)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos suspendidos	Sedimentación Cribado y desmenuzado Diversos procesos de filtración Flotación Adición de polímeros Coagulación/sedimentación Sistemas de tratamiento en el suelo
Compuestos orgánicos biodegradables	Diversos procesos de lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: reactores rotativos de contacto biológico Lagunas de estabilización de aguas residuales Filtración intermitente en arena Sistemas de tratamiento en el suelo Sistemas fisicoquímicos
Organismos Patógenos	Cloración Hipocloración Ozonización Sistemas de tratamiento en el suelo
Nutrientes: Nitrógeno	Diversos procesos de nitrificación y desnitrificación con crecimiento suspendido Diversos procesos de nitrificación y desnitrificación con película fija Separación del amoníaco Intercambio iónico Cloración hasta el punto de quiebre Sistemas de tratamiento en el suelo
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación/sedimentación con cal Remoción bioquímica del fósforo Sistemas de tratamiento en el suelo
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Sistemas de tratamiento en el suelo
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodiálisis

(a) Adaptado de Metcalf y Eddy, Inc. (Rev. por George Tchobanoglous). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979 (impresión con permiso).

diferirá según éstas brinden servicio a grandes o pequeñas poblaciones, o áreas rurales.

Los contaminantes son reducidos mediante procesos físicos, químicos o biológicos, o mediante una combinación de los mismos. Existen tres niveles básicos de tratamiento de aguas residuales: primario, secundario y avanzado. A cada uno de los pasos involucrados en cada proceso se les denomina operaciones unitarias. El número y los tipos de operaciones unitarias en cada caso específico dependerán del nivel de tratamiento a ser alcanzado.

La capacidad de una planta de tratamiento está basada en el caudal promedio en clima seco, sin considerar el aporte de aguas de lluvia. Se puede obtener un estimado aproximado de los volúmenes en clima seco, calculando el tamaño de la población a la que se va a atender y el promedio per cápita de contribución de aguas residuales. Otra base para estimar los volúmenes, es el consumo total de agua en el área que se va a atender. Por lo general, un 60 a 80% del agua abastecida llegará al sistema de alcantarillado, siendo la cifra menor aplicable a regiones áridas o semi-áridas. La infiltración excesiva, el drenaje de techos, y el agua descargada por la industria, pero no captada del sistema público de abastecimiento, pueden incrementar los caudales de aguas residuales muy por encima de los porcentajes señalados.

Deben utilizarse métodos de bajo costo para la disposición de residuos en áreas urbanas marginales, pequeñas comunidades y aldeas. En el caso de una familia o un pequeño grupo de familias, la disposición se realizará mediante métodos como letrinas de pozo o tanques sépticos. Normalmente, estos residuos no llegarán a las aguas superficiales, aunque debe tenerse cuidado para prevenir la contaminación de pozos o acuíferos de aguas subterráneas. También se disponen de otros métodos que pueden usarse en estas situaciones, tal como se discute más adelante.

El tratamiento primario consiste en una sedimentación simple por gravedad, precedida por un tratamiento preliminar como cribado, desarenado y, algunas veces, pre o poscloración o preaeración. En esta etapa se eliminan la mayoría de sólidos, grasas y material flotante observable. Las concentraciones de DBO se reducen de un promedio de 300 miligramos por litro (mg/l) a unos 200 mg/l. Los sólidos suspendidos se reducen del rango de 200 a 300 mg/l hasta niveles tan bajos como 100 mg/l.

El tratamiento secundario elimina la mayor parte de la materia fina suspendida y de la materia degradable disuelta que quedan luego del tratamiento primario. En la mayoría de casos, la DBO y los sólidos suspendidos se reducen hasta el rango de 20 a 30 mg/l. El tratamiento se lleva a cabo aeróbicamente mediante oxidación biológica (en presencia de oxígeno). Con este propósito se pueden utilizar varios procesos, siendo los más comunes los filtros percoladores, reactores rotativos de contacto biológico, lodos activados y lagunas de estabilización (u oxidación).

Se utiliza tratamiento adicional (algunas veces llamado "pulido") para la remoción de los sólidos suspendidos muy finos y para la desinfección, con el fin de reducir la concentración de organismos patógenos y otros microorganismos que pudieran constituir un riesgo para la salud.

Los efluentes acondicionados a través del tratamiento secundario pueden contener aún ciertos compuestos orgánicos no biodegradables como surfactantes (detergentes), sales inorgánicas disueltas y nutrientes vegetales disueltos como nitrógeno y fósforo. Los procesos requeridos para remover estos materiales remanentes se clasifican como tratamiento avanzado de aguas residuales (TAAR).

Los procesos de TAAR aumentan considerablemente los costos de tratamiento, por lo que no deben usarse excepto en circunstancias especiales. Cuando se requiere utilizar el TAAR, con frecuencia resulta más económico aprovechar el efluente resultante de alta calidad para alguna forma de reutilización directa, en vez de descargarlo simplemente al medio ambiente.

Los efluentes líquidos resultantes de estos diferentes procesos de tratamiento pueden ser descargados directamente en cursos de agua adyacentes o al suelo. Los lodos provenientes de los diferentes niveles de tratamiento son manipulados y dispuestos en forma separada. En estado bruto, el lodo contiene en peso un 90% o más de agua.

Los métodos de manipulación de lodos comúnmente usados incluyen concentración (reducción del volumen), acondicionamiento (estabilización de la materia orgánica y/o recuperación de subproductos), desaguado, secado y disposición en el suelo. El acondicionamiento (mediante digestión anaeróbica) es el método más común. Los lodos digeridos generalmente son adecuados para su disposición directa en el suelo y no causan problemas de olor o de salud. En algunos países, el lodo también es dispuesto a través del compostaje con residuos sólidos y residuos agrícolas; posteriormente, esta mezcla es aplicada a los terrenos como acondicionador de suelos.

Exceso de agua de lluvia. Mediante una serie de métodos, es posible lograr diferentes grados de control del caudal del agua de lluvia en un sistema urbano de alcantarillado combinado. Estas aguas adicionadas a las aguas residuales sanitarias (caudal de clima seco), presentes en el sistema de alcantarillado, también contendrán basura arrojada en las calles, sustancias que dejan caer los vehículos (aceite, grasas, gasolina), residuos arrastrados de la vía pública y de los sumideros mal mantenidos, así como otras materias extrañas.

Durante los períodos de lluvias, deberá controlarse el exceso de caudal que no pasa por la planta de tratamiento, con el fin de minimizar sus efectos sobre las aguas receptoras. Esto puede hacerse de manera muy eficaz mediante estanques u otras instalaciones de almacenamiento, con el fin de retener los excedentes de agua y descargarlos posteriormente a

través del sistema de tratamiento, durante los períodos secos o con poco caudal de aguas residuales domésticas.

Los estanques de almacenamiento se diseñan para una frecuencia, duración e intensidad específica de las precipitaciones pluviales, las mismas que deben establecerse para cada caso específico. Los caudales resultantes de lluvias que excedan los criterios de diseño se descargan en los cursos receptores, pero sus efectos habrán sido reducidos significativamente como resultado de la mezcla y dilución efectuadas durante el almacenamiento.

Opciones de Tratamiento de Bajo Costo. Las comunidades pequeñas y medianas pueden encontrar que las alternativas de menor costo constituyen en efecto métodos cuyos costos de instalación y operación son bajos, pero que al mismo tiempo protegen adecuadamente la calidad de los cursos receptores. Las lagunas de estabilización o estanques, así como el tratamiento en el suelo, han demostrado ser muy adecuados en tales casos.

Las lagunas de estabilización tienen muchas ventajas, particularmente en los países en vías de desarrollo. Por ejemplo:

- (a) Son muy adaptables a un amplio espectro de residuos biodegradables, tanto domésticos como industriales. También pueden suministrar una capacidad de almacenamiento adecuada para absorber cargas repentinas o estacionales.
- (b) Su operación y mantenimiento requieren conocimientos técnicos mínimos, y los costos de operación generalmente son menores que otros métodos de tratamiento. Los costos de energía, por ejemplo, se restringen al bombeo, cuando esto es necesario.
- (c) Generalmente se pueden construir con materiales disponibles a nivel local o nacional. Los requerimientos de materiales importados son escasos o nulos.
- (d) Es posible la recuperación de aguas residuales y proteínas para la irrigación y la piscicultura. Puede ser necesario tomar precauciones respecto a la salud pública, dependiendo del uso del efluente de la laguna.

Las lagunas generalmente son estructuras de tierra que pueden ser construidas bajo el nivel del suelo, al nivel del suelo con terraplenes, o construyendo represas en depresiones naturales del terreno. Pueden estar revestidas o no con arcilla impermeable, caucho o plástico y se pueden subdividir mediante tabiques de tierra en varios compartimientos o celdas. Cada compartimiento puede funcionar independientemente o puede existir circulación entre compartimientos, ya sea en forma paralela o en serie. Todas estas opciones brindan flexibilidad de operación y permiten el control de la calidad del efluente final.

Las lagunas pueden dividirse en dos categorías - lagunas de retención o absorción y lagunas de flujo continuo. Las lagunas de retención se basan en la percolación y evaporación como un medio para aceptar aportes continuos de aguas residuales. Pueden producirse descargas intermitentes (o rebosamientos), cuando los caudales máximos excedan la capacidad de almacenamiento de la laguna.

Las lagunas de flujo continuo son de cuatro tipos básicos: aeróbicas de algas, facultativas (capa superior aeróbica, capa inferior anaeróbica), anaeróbicas y aeradas.

Las lagunas aeróbicas de algas, con profundidades de hasta 1-1.5 metros, utilizan las algas para obtener el oxígeno requerido para estabilizar a las aguas residuales. Las lagunas facultativas, cuyas profundidades están en el rango de 1-2 metros, contienen una capa superior que funciona como zona aeróbica y una capa inferior que proporciona un medio en el cual los materiales orgánicos se descomponen y producen metano y otros gases.

Las lagunas anaeróbicas mantienen condiciones anaeróbicas en todo su volumen. Son relativamente profundas (hasta 6 metros), con el fin de minimizar la generación de olor en la superficie y de retener el calor para que se pueda llevar a cabo la descomposición anaeróbica.

Las lagunas aeradas utilizan la transferencia mecánica de oxígeno para promover la descomposición de la materia orgánica. Se utilizan difusores de aire o aeradores mecánicos. La profundidad de estas lagunas está en el rango de 2 a 6 metros. Las unidades pueden ser subdivididas utilizando tabiques de tierra. Si bien las capas superiores estarán bien aeradas, en el fondo se producirá con frecuencia descomposición anaeróbica.

Para viviendas aisladas o grupos muy pequeños de casas, generalmente lo más efectivo es utilizar instalaciones que van desde letrinas de pozo adecuadamente instaladas, hasta tanques sépticos.

Tratamiento en el suelo. El tratamiento en el suelo utiliza plantas vegetales, la superficie del suelo y la matriz del suelo para la disposición de aguas residuales tratadas o sin tratar. Los tres métodos principales son la irrigación, infiltración rápida (algunas veces llamada tratamiento suelo-acuífero) y flujo superficial.

La irrigación, el proceso usado con mayor frecuencia, consiste en la aplicación del efluente al suelo con propósitos de tratamiento y para satisfacer los requerimientos de agua para el crecimiento del cultivo. El tratamiento se lleva a cabo a través de una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que se producen a medida que el líquido va penetrando en el suelo. La aplicación sobre el suelo se hace mediante aspersión u otra técnica superficial. Los índices de aplicación varían de 2.5 a 10 centímetros semanales, dependiendo del tipo de cultivo, rendimiento económico, costos del terreno, de los sistemas de distribución y otros factores.

En el proceso de infiltración rápida, la aplicación del efluente sobre el suelo tiene índices altos (10 a 210 centímetros por semana), y se realiza mediante aspersión o empozamiento. El efluente es tratado a medida que penetra a través de la matriz del suelo. Este método es particularmente útil para (a) recarga de acuíferos; (b) tratamiento natural seguido de la recuperación del agua mediante un sistema de drenaje subterráneo; y (c) tratamiento natural seguido por el uso del agua acondicionada para aumentar el caudal de un curso de aguas superficiales.

En el flujo superficial, las aguas residuales se aplican en las partes más altas de las terrazas inclinadas, y se permite que desciendan a través de superficies con vegetación hasta llegar a zanjas recolectoras. El acondicionamiento se efectúa gracias a los procesos físicos, químicos y biológicos que se producen a medida que el líquido desciende por la pendiente bajo la forma de una lámina delgada.

El flujo superficial puede ser usado como parte de un tratamiento secundario o como un proceso de tratamiento avanzado. Los índices de aplicación se ubican en el rango de 15 a 40 centímetros por semana.

También se ha intentado usar en suelos pantanosos y en piscicultura. Han sido estudiados suelos pantanosos artificiales y naturales utilizando efluentes sin tratar y efluentes secundarios. También ha sido informado el uso de jacintos acuáticos y diferentes combinaciones de peces.

Aguas Residuales Industriales

Los tipos de residuos producidos por las industrias varían desde aquéllos medidos por parámetros convencionales (como demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos y organismos coliformes), hasta una multitud de sales metálicas inorgánicas y orgánicas, compuestos aromáticos polinucleares y compuestos orgánicos clorados. La composición de cualquier descarga industrial dependerá de las características de la industria y de las acciones correctivas tomadas dentro de la planta para la reducción de la contaminación.

Las aguas residuales industriales pueden ser agrupadas en cuatro grandes categorías: aguas de refrigeración sin contacto, aguas residuales generadas por los procesos, desechos líquidos de los procesos auxiliares y escorrentías de aguas de lluvia/aguas subterráneas.

Las aguas sin contacto generalmente son utilizadas para propósitos de refrigeración, y pasan por la planta sin tener contacto alguno con las materias primas ni otros materiales. Pueden usarse una sola vez o ser recicladas. La temperatura del efluente puede ser tan alta después de su uso, que quizás sea necesario enfriarlo antes de reutilizarlo o descargarlo. Si se descarga a una temperatura elevada, el oxígeno disuelto del curso de agua receptor disminuirá a medida que la

temperatura se incremente, lo que crearía condiciones desfavorables que podrían afectar la vida de los peces.

Las aguas residuales generadas por los procesos incluyen aguas de lavado de productos, derrames o descargas accidentales durante el proceso, fugas de las materias primas crudas o procesadas, productos químicos que no han reaccionado, aguas de limpieza de las instalaciones y otros tipos de efluentes que, de una manera u otra pueden haber entrado en contacto con el proceso durante el ciclo entre materias primas y productos terminados.

Las fuentes auxiliares son aquéllas que no están involucradas directamente en el proceso. Son ejemplos de éstas, las purgas de las torres de enfriamiento, las aguas de lavado de filtros de plantas de tratamiento para sistemas de abastecimiento de agua y otras similares.

La cuarta categoría, que actualmente está ganando mayor reconocimiento, incluye aquellas aguas (mayormente de lluvia) que entran en contacto con materias primas industriales y productos manufacturados almacenados, cúmulos de residuos y otros materiales expuestos a la lluvia y a la acción lixiviadora de la escorrentía.

Los métodos básicos para el tratamiento de efluentes industriales incluyen (a) modificaciones en el proceso; (b) tratamiento completo in situ con o sin recuperación de materias primas o subproductos valiosos; (c) pretratamiento con descarga a un sistema público para el tratamiento conjunto con las aguas residuales municipales; (d) descarga sin pretratamiento para el tratamiento conjunto con las aguas residuales municipales; y (e) tratamiento completo de las aguas residuales de varias industrias en una planta de tratamiento central.

Será necesario evaluar las características de cada situación para determinar cuál es el mejor método. Ciertos contaminantes pasan a través del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas sin sufrir ningún cambio, por lo que puede ser necesario eliminarlos en la misma fuente de origen antes de la descarga al sistema municipal. Estos contaminantes incluyen materiales radioactivos, cromo, cianuro, plomo, mercurio, cobre, nitrógeno, fósforo y otros. Los materiales corrosivos, las sustancias explosivas e inflamables y los residuos con temperaturas elevadas pueden plantear problemas de salud y de seguridad para el personal de operación y pueden provocar daños en las estructuras del sistema municipal de recolección y tratamiento.

Fuentes No Puntuales

Las fuentes no puntuales son quizás las más difíciles de controlar y tratar. En áreas agrícolas, las medidas que se deben tomar incluyen el manejo de la capa superficial del suelo, construcción de terrazas, intercepción y desvío de escorrentías y el empleo de coberturas vegetales para controlar la erosión.

En el manejo forestal, incluyendo la tala de árboles, la contaminación puede minimizarse mediante el control del sistema de transporte -- optimizando el número de carreteras y sus trazos, y minimizando el número de veces que los caminos tienen que cruzar corrientes de agua. Cuando las pendientes sean superiores al 60%, los caminos deben construirse como último recurso, y más bien deberán investigarse otros métodos para el traslado de los troncos. Las técnicas de talado y transporte influyen grandemente en la cantidad de contaminación producida.

En la construcción, la principal preocupación es la escorrentía de sedimentos. Esta puede ser controlada a través de filtros, tamices de yute, percolación, fertilización y capas protectoras de humus. Deben tomarse medidas para recolectar y desviar las aguas de lluvia durante la construcción. El lugar deberá ser restaurado después de terminar la construcción.

Los sedimentos, las sustancias tóxicas y los ácidos constituyen los principales tipos de contaminantes producidos por las operaciones mineras, tanto superficiales como subterráneas. Las medidas de control deben ser específicas para cada situación. La segregación del material y la derivación de aguas (recolección de las aguas superficiales antes de que ingresen al área de la mina), han resultado eficaces en las operaciones mineras superficiales. El restablecimiento del terreno es también muy importante.

En el caso de operaciones mineras subterráneas, las medidas de control de la contaminación deben estar dirigidas a restringir los flujos de aguas subterráneas, y a reducir la disponibilidad de oxígeno en el aire que entra a la mina a través de los pozos y otras aberturas. El oxígeno y el azufre presentes en la mina se combinarán para formar ácido sulfúrico. Los agujeros barrenados deben ser taponados, y las zonas de fractura cementadas inmediatamente. Las infiltraciones del agua de lluvia de la cuenca deben ser reducidas al mínimo posible. El restablecimiento del lugar incluirá el sellado de las aberturas de la mina y el relleno de los espacios vacíos mediante la provocación de derrumbes.

Reutilización del Agua

Las aguas residuales disponibles para reuso deben ser consideradas como recursos hídricos adicionales. Existen dos tipos de reutilización - directa e indirecta. La reutilización directa consiste en el uso planificado y deliberado de las aguas residuales para algún propósito provechoso, incluyendo abastecimiento de agua, irrigación y recarga de acuíferos subterráneos. La reutilización indirecta se produce cuando el agua utilizada una o más veces para propósitos domésticos o industriales, es descargada en aguas dulces superficiales o subterráneas y utilizada nuevamente en forma diluida por un usuario ubicado aguas abajo.

La reutilización directa (o intencional) incluye comúnmente usos para propósitos agrícolas, industria (por lo general para refrigeración), recreación (llenado de lagos a ser usados en navegación, pesca y algunas veces natación), propósitos municipales (baldeado de calles, riego de parques y campos de golf), inyección subterránea para evitar la intrusión de agua salada y piscicultura.

La reutilización indirecta (o no intencional) se refiere a situaciones en las que los ríos y lagos que reciben aguas residuales tratadas o sin tratar, son usados como fuentes de abastecimiento de agua por municipalidades ubicadas aguas abajo del punto de descarga. La reutilización indirecta también se produce en gran medida cuando fuentes superficiales conteniendo aguas residuales son usadas en la agricultura, la industria o para propósitos recreativos. El drenaje de las aguas de tanques sépticos y lagunas de estabilización hacia acuíferos, conduce también a una reutilización no intencional cuando posteriormente esta agua es extraída.

Existen ciertos riesgos para la salud en la reutilización de aguas residuales tratadas; éstos deben ser cuidadosamente evaluados en cada caso. Es necesario reglamentar el riego de cultivos vegetales, no sólo para proteger al consumidor sino también al trabajador agrícola. Cuando se utilizan aguas residuales en estanques piscícolas, existe la posibilidad de que microorganismos patógenos se transmitan de las vísceras de los peces a los consumidores. En el caso de reutilización industrial, deben tomarse medidas para evitar conexiones cruzadas entre la línea de aguas residuales tratadas y la red de abastecimiento de agua potable.

Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento

La operación y el mantenimiento eficaz, eficiente y permanente de las instalaciones, pueden significar la diferencia entre éxito y fracaso en los esfuerzos por el control de la contaminación del agua. No importa qué tan bien diseñadas y construidas estén las obras de recolección y tratamiento, ellas no lograrán las metas proyectadas a menos que tengan una operación y un mantenimiento adecuados. Un mantenimiento deficiente y la falta de una administración sistemática, se manifestará eventualmente en una planta muy ineficiente e inoperante.

Debe reconocerse, sin embargo, que una operación y un mantenimiento de buena calidad resultan costosos. A lo largo de la vida útil de la planta, estos costos representarán un porcentaje importante de los costos totales de recolección y tratamiento de las aguas residuales. Estos costos deben recibir una atención cuidadosa durante las etapas de planificación de las instalaciones, de tal manera que se disponga del financiamiento adecuado una vez que se construya la planta y entre en funcionamiento.

Todos los gastos destinados a las operaciones cotidianas, incluyendo los gastos administrativos, deben ser considerados como parte

del costo total. Estos costos incluirán los siguientes (aunque sin limitarse sólo a ellos):

- (a) Personal - Salarios, jubilación, beneficios sociales y capacitación;
- (b) Servicios - Energía (gas o electricidad), teléfono, combustible y agua;
- (c) Productos Químicos - Productos químicos para el proceso, desinfectantes, coagulantes, acondicionadores de lodo y productos químicos para el laboratorio;
- (d) Equipo y Materiales - Máquinas pequeñas, repuestos, equipos y suministros para el laboratorio, herramientas y bienes fungibles;
- (e) Servicios Contractuales - Servicios y funciones no incluidos en los puntos anteriores, tales como manipulación y disposición de lodos, consultoría en problemas de ingeniería; etc.
- (f) Costos de Reposición - Reemplazo o reparación de componentes del equipo principal; y
- (g) Otros Costos - Viajes, transporte, seguro de vehículos y equipos, suscripciones a revistas especializadas, etc.

Deben tomarse medidas previas, antes de la puesta en funcionamiento de la planta, para ayudar a garantizar una operación eficiente. El contrato de diseño debe incluir una disposición respecto a la preparación de un manual de operación adecuado a la planta específica. También deben incluirse disposiciones para que los ingenieros proyectistas participen en el período inicial de las operaciones de la planta, digamos en el primer o en los dos primeros años, con el fin de que resuelvan cualquier problema que pueda presentarse.

Con bastante anticipación a la puesta en marcha de la planta, se deberá identificar o contratar al núcleo básico del personal, de tal manera que de ser necesario se le pueda brindar capacitación adicional. Este núcleo básico también debe trabajar estrechamente con los proyectistas y contratistas durante la fase de construcción, de tal manera que estén completamente familiarizados con la planta física.

En el manejo cotidiano de la planta son esenciales los muestreos y análisis regulares a lo largo del proceso de tratamiento y en las aguas que se reciben. Esta información puede mostrar, por ejemplo, (a) la necesidad de modificar las dosis de cloro, coagulantes o aire (oxígeno); o (b) la necesidad de realizar cambios en el proceso, como modificar los ciclos de sedimentación o recirculación.

La programación del muestreo y el tipo de pruebas se hará en función de la situación específica. Las muestras deben ser recolectadas, preservadas y (de ser necesario) transportadas adecuadamente antes de los análisis. Los procedimientos de análisis deben contar con la aceptación de todas las entidades y autoridades. El Standard Methods citado en la Bibliografía, al final de este capítulo, constituye la fuente de procedimientos analíticos con mayor aceptación en el campo de las aguas

residuales. Cuando la planta sea tan pequeña que su personal y equipo de laboratorio sea muy reducido (o no lo tenga), la recolección y el análisis de las muestras se realizarán mediante contratos con laboratorios externos. También puede ser necesario acudir a terceros para la realización de pruebas más sofisticadas y menos frecuentes.

Es extremadamente importante llevar registros exactos de todos los aspectos de la operación y el mantenimiento de la planta, incluyendo la programación de los muestreos y análisis. Esta información es esencial para evaluar la eficiencia de una planta y su rendimiento a largo plazo, identificar la necesidad de mejorar uno o más de los componentes de la planta, y proporciona datos para el diseño de ampliaciones o de nuevas instalaciones de tratamiento.

Bibliografía

Arthur, V.P. Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries. Washington: World Bank Technical Paper No. 7. April 1983.

Barnes, D. et al. Water and Wastewater Engineering Systems. London: Pittman Books Limited, 1981.

Environment Department. Environmental Guidelines. Washington: The World Bank, 1984.

European Inland Fisheries Advisory Commission. Water Quality Criteria for European Fresh Water Fish - Report on Nickel and Fresh Water Fish. Rome: Technical Paper 45. Food and Agriculture Organization, 1984.

----- . Water Quality Criteria for European Fresh Water Fish - Report on Nitrite and Fresh Water Fish. Rome: Technical Paper 46. Food and Agriculture Organization, 1984.

Institution of Civil Engineers. Reuse of Sewage Effluent. Proceedings of the International Symposium held in London 30-31 Octubre 1984. London: Thomas Telford Ltd, 1985.

Metcalf & Eddy, Inc. [Rev. by George Tchobanoglous]. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

Middlebrooks, E.J. et al. Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading. New York: Macmillan Publishing Co., Inc., 1982.

Middlebrooks, E. Joe. Water Reuse. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc., 1982.

Overcash, Michael Ray, & D. Pal. Design of Land Treatment Systems for Industrial Wastes. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1979.

Schiller, Eric J., & Ronald L. Droste. Water Supply and Sanitation in Developing Countries. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1982.

U.S. Environmental Protection Agency. Considerations for Preparation of Operation and Maintenance Manuals. Document EPA/9-74-001. Washington: U.S. Government Printing Office, Stock No. 055-001-00644-6, 1974.

----- . Quality Criteria for Water.
Washington, July 1976.

----- . Water Quality Criteria - 1972.
Publication No. EPA-R3-73-033. Washington, March 1973.

Vesilind, P. Aarne, & J. Jeffrey Peirce. Environmental Engineering. Woburn, Massachusetts: Butterworth Publishers, 1982.

Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Sewage. Washington: WPCF, Sixteenth Edition, 1985.

----- . Industrial Wastewater Control Program for Municipal Agencies. Manual of Practice OM-4. Washington: WPCF, 1982.

----- . "Wastewater Sampling for Process and Quality Control". MOP OM-1. WPCF. Washington. (1980).

World Health Organization. Compendium of Environmental Guidelines and Standards for Industrial Discharges. Geneva: Document EFP/83.49, 1983.

----- . Guidelines for Drinking Water Quality - Vol. 1 Recommendations. Geneva, 1984.

----- . Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Safeguards. Geneva: Technical Report Series No. 517, (1973).