

## **6. Control de desechos líquidos industriales**

---

Los desechos industriales son los materiales sobrantes en estado sólido, líquido o gaseoso que se producen en los lugares de trabajo. Su composición y cantidad varía según el tipo de industria y los procesos utilizados.

Los desechos que se producen en la industria son responsabilidad del empresario, quien debe disponer de ellos lo más rápidamente posible, sin ocasionar problemas de salud a la población, al sistema de alcantarillado, a las instalaciones y a los procesos de plantas de tratamiento de aguas, ni contaminar las fuentes de ésta.

Los materiales sólidos no pueden descargarse en el sistema de alcantarillado; deben eliminarse del desecho líquido antes de su disposición final. Ejemplos: desechos de metales, escorias, aserrín, cenizas y restos alimenticios.

Los desechos gaseosos constituidos por gases o polvos, y que generalmente se dispersan en la atmósfera sin tratamiento, causan contaminación del aire.

En cualquier proceso industrial se presentan productos finales a pesar de lo bien diseñadas y eficientes que sean las operaciones. Estos desechos industriales, así como los producidos por la actividad vital del personal de la fábrica, deben tratarse y disponer de ellos adecuadamente para que las sustancias químicas tóxicas y los organismos contenidos no presenten riesgos para la salud del personal del establecimiento, la población de los alrededores, la vida vegetal o animal, el suelo y el agua de la zona.

Los desechos líquidos pueden ser descargados en el sistema de alcantarillado, si su volumen es pequeño o han sido sometidos a un tratamiento adecuado.

Las aguas industriales de desecho pueden contener materia mineral suspendida, coloidal y disuelta; sólidos orgánicos; ser excesivamente ácidas o alcalinas; con concentraciones altas y bajas de colorantes; materiales inertes; agentes tóxicos y bacterias patógenas.

Al verter los desechos industriales líquidos en un curso de agua pueden provocar en éste alteraciones físicas, químicas y biológicas en el agua, conse-

cuencias que se reducirán si los desechos líquidos crudos se someten a un tratamiento de depuración previo, cuya magnitud dependerá:

- De las características de dilución y de estabilización del curso de agua receptor.
- De los caudales del curso de agua receptor y del vertimiento (desecho industrial).
- Del estado del agua antes de recibir los desechos.
- De la posibilidad de recibir otros desechos aguas abajo.
- De las características del curso de agua receptor en la trayectoria posterior al vertimiento.
- De la utilización posterior del curso de agua receptor.

Alteraciones físicas:

- Color
- Olor
- Sabor
- Temperatura
- Materia en suspensión
- Formación de espumas
- Radiactividad

Alteraciones químicas ocasionadas por:

- Compuestos orgánicos
- Compuestos inorgánicos

Alteraciones biológicas:

- Por la presencia de organismos patógenos que transmiten enfermedades.
- Por falta de oxígeno disuelto necesario que provoca ausencia de animales y plantas.

La industria utiliza agua para una amplia gama de actividades, desde el proceso más complejo hasta la limpieza de pisos. El hombre no puede emplear agua sin agregarle algo. Y este algo puede ser calor, materiales suspendidos o sustancias en disolución.

Para controlar la emisión de aguas industriales se requiere:

- Conocimiento del volumen de agua utilizada por unidad de tiempo y de su calidad.
- Conocimiento de las normas de calidad del agua que recibe la industria y la que desecha.

Las aguas industriales, según el uso que se les da proceden de:

- Plantas de tratamiento de agua (acondicionamiento de ésta según necesidades de la industria).
- Servicios sanitarios y de alimentación para los empleados.
- Calderas.
- Limpieza.
- Intercambiadores de calor.
- Procesos industriales.
- Drenajes de techos y patios.
- Plantas de tratamiento de aguas industriales residuales (figura 6.1).

## **IDENTIFICACION DE LOS ORIGENES O FUENTES DE PRODUCCION DE AGUAS DE DESECHO**

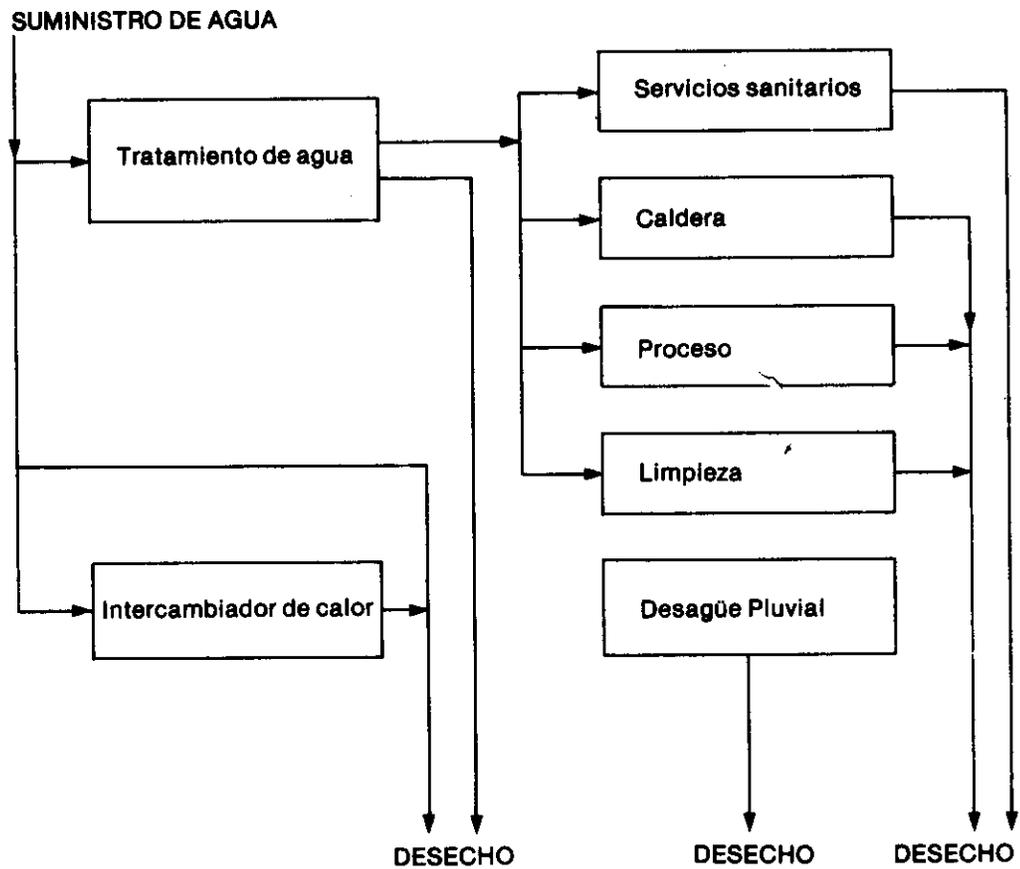
### **Desechos de plantas de tratamiento de agua**

Algunas industrias necesitan realizar un tratamiento al agua que reciben con el fin de obtener la calidad requerida para cada uso. A continuación se mencionan varios tipos de aguas residuales de diferentes procesos utilizados.

#### ***Sedimentación***

Generalmente utiliza coagulantes como aluminio o sales de hierro. El material sedimentado y removido del fondo del tanque de sedimentación (todo),

**Figura 6.1**  
**Aguas Industriales y su origen**



Fuente: *The Industrial Environment. Its Evaluation and Control.* NIOSH, 1973.

contiene aproximadamente 8% de sólidos y 92% de agua. Los sólidos están compuestos de los que contenía el agua, de coagulantes hidratados y material filtrante. Los lodos pueden secarse por sedimentación en tanques, empleando vacío o centrifugado. El agua resultante de este proceso puede recircularse a la operación inicial. La única pérdida de agua es la que contiene finalmente la torta de lodos, usualmente de 50 a 75% de su peso.

### ***Ablandamiento***

Consiste en la remoción de los iones de calcio y magnesio que contiene el agua en un intercambiador de cationes o por tratamiento con cal y soda. El lodo sedimentado resultante contiene carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. El material final después de reciclar el lodo puede tener una concentración de 25% de sólidos y 75% de agua.

### ***Filtración***

El lavado de filtros con corriente de agua limpia origina agua de desecho que contiene los sólidos retenidos en el filtro. Los filtros se utilizan también para separar el hierro precipitado del agua de pozo, la cual ha sido aireada para oxidar el ion ferroso o férrico. El agua utilizada para el lavado de estos filtros puede usarse nuevamente en esta operación.

### ***Intercambio iónico***

Utilizado para aguas blandas mediante un material de intercambio catiónico que remueve el calcio y el magnesio y los reemplaza con sodio. El material intercambiador generalmente es NaCl y el agua de desecho después de este proceso contiene  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  y el exceso de NaCl empleado.

### ***Desmineralización***

Emplea Intercambiadores catiónicos y aniónicos que produce agua de calidad similar a la destilada. Los intercambiadores pueden ser de hidróxido de amonio, cáustico, ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. El intercambiador catiónico reemplaza los cationes con hidrógeno; así se obtiene un agua ácida que requiere ser desgasificada para retirar el  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_2$ . El intercambiador aniónico reemplaza los aniones con iones hidróxidos. El agua de desecho contiene todas las sustancias que tenía el agua original y el exceso de material intercambiador añadido, excepto los gases ácidos. Esta agua de desecho no debe ser reciclada.

### **Aguas de servicios sanitarios y de alimentación**

Están compuestas por: a) aguas negras que contienen materia fecal y gran cantidad de microorganismos, muchos de ellos patógenos; b) aguas de actividades alimentarias, lavado de ropa de trabajo e higiene personal. Presentan alto contenido de materia orgánica, jabón, grasas, partículas minerales y microorganismos que pueden ser patógenos.

Las aguas provenientes de sanitarios, lavamanos, duchas, lavanderías y restaurantes de la industria, deben desaguarse al sistema de alcantarillado separadamente de otros desechos.

El agua de desecho de los servicios sanitarios es aproximadamente de 0.075 m<sup>3</sup> por persona por turno. La que proviene de servicios de alimentación y de la lavandería de la empresa puede ser de 0.11 m<sup>3</sup>/persona/turno.

### **Aguas de desecho por funcionamiento de calderas**

#### *Purga de calderas*

El agua de desecho resultante es mineralizada, con un contenido de sólidos del orden de 3 500 a 500 mg/l.

#### *Agua para remoción de cenizas de la combustión de carbón*

Las cenizas en las calderas se retiran a un pozo, generalmente con agua; después de utilizarse el agua es alcalina y se considera como un desecho.

#### *Limpieza de calderas*

Los tubos de las calderas deben limpiarse periódicamente con sustancias químicas. En calderas de baja presión se emplea ácido clorhídrico con elementos que previenen el ataque del hierro. Estas sustancias limpiadoras se descargan en el foso de cenizas; se produce precipitación del hierro y neutralización del ácido, debido al agua alcalina de desecho.

Las calderas de presión alta requieren de métodos de limpieza más complejos con sustancias químicas como ácido nítrico. Estas soluciones limpiadoras contienen cobre y zinc.

### **Aguas de desecho provenientes de limpieza**

Incluyen el agua utilizada para la limpieza de equipos y pisos, la cual puede contener materia orgánica (restos de material), jabón, grasas, tóxicos, minerales y microorganismos patógenos.

### **Aguas utilizadas para intercambio de calor**

El uso del agua como un medio de intercambio de calor no es la aplicación más frecuente en la industria.

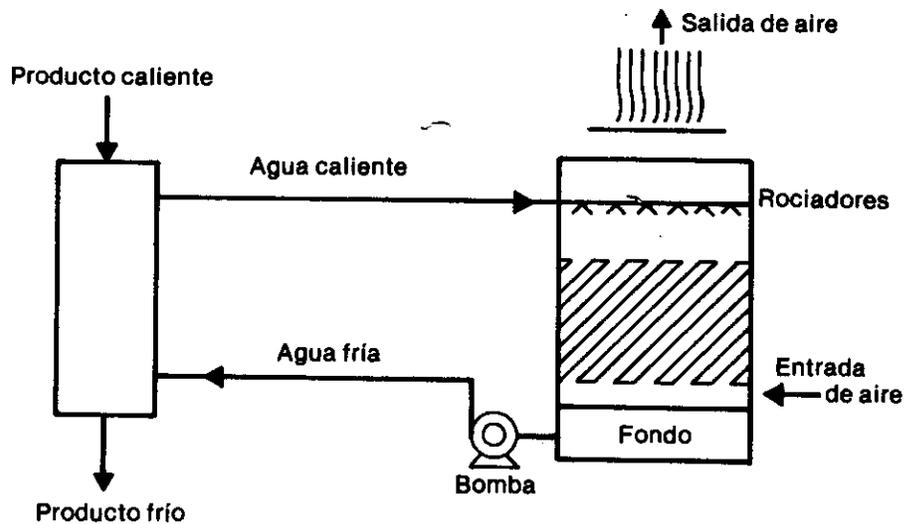
El calor se considera contaminante por los cambios que origina en la vida animal y vegetal del agua.

#### *Torres de enfriamiento*

El agua del intercambio de calor que puede causar contaminación térmica es recuperada y reutilizada en torres de enfriamiento, donde se logra que el ca-

lor se disipe rápidamente. Esta agua fría puede recircularse, después de un tratamiento, para prevenir costras y corrosión en la tubería del intercambiador de calor. Las torres de enfriamiento pierden aproximadamente 2% del agua por evaporación, 1% por entradas y 10% por purga, requerida para mantener un contenido de sólidos constante. El agua perdida por la purga contiene 1 000 mg/l de sólidos totales; además zinc, cromo y otros productos químicos agregados para acondicionar el agua (figura 6.2).

**Figura 6.2**  
**Torre de enfriamiento**



Fuente: *The industrial environment. Its evaluation and control.* NIOSH, 1973.

#### **Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor que se utilizan para enfriar un producto deben disponer de puntos para el muestreo del agua, de fácil acceso para éste. Un pequeño escape en un tubo podría producir una pérdida considerable del producto. La velocidad del agua que pasa por un agujero de escape muy pequeño puede crear una succión que produce la entrada del producto a la corriente del agua de enfriamiento.

#### **Aguas de los procesos**

El agua en contacto con materias primas, productos intermedios, subproductos o productos finales se denomina agua de proceso y comprende:

Aguas orgánicas procedentes de industrias de la leche, procesadoras de alimentos, textiles, destilerías, que se caracterizan por un alto contenido de materias orgánicas y a veces de microorganismos patógenos.

Toxinas de industrias químicas, metales, explosivos, que ocasionan daños por corrosión a las alcantarillas y contaminación de cursos de agua. Ocasionalmente contienen organismos patógenos.

Lavado inerte de industrias de cerámica, caolín y areneras.

Producen obstrucciones por sedimentación en el sistema de alcantarillado y contaminación de cursos de agua.

#### *Limpieza de materia prima*

Algunas materias primas se transportan por agua y se necesita su lavado y retiro. La industria de los alimentos es un ejemplo de esta utilización. La calidad del agua empleada en la industria de los enlatados está directamente relacionado con la condición en que se reciben los vegetales y frutas.

#### *Limpieza de recipientes*

Las aguas utilizadas para recipientes donde se efectúan son concentrados que se descargan intermitentemente y que a menudo requieren de un manejo especial.

#### *Refinados*

La extracción de solventes de materiales que contienen agua es un proceso industrial frecuente. El agua remanente después de la extracción generalmente contiene concentraciones altas de subproductos, y cantidades menores de productos y de solvente.

#### *Lavadores de gas*

Los gases que se desprenden de un proceso usualmente son lavados con agua. Si el gas es de valor, como hidrógeno, éste debe lavarse para remover las impurezas y reutilizarlo. Los gases como cloro, cianuro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno o fosgeno son peligrosos y deberán ser removidos mediante un equipo de lavado eficiente. Una manera de evaluar la eficiencia de este control consiste en el análisis del agua de desecho.

#### **Aguas de lluvias y de patios**

El diseño del sistema de alcantarillado debería facilitar una separación del agua derramada en los pisos y patios de la fábrica.

Las aguas de desecho de lluvias y de patios pueden provenir de:

- Las materias primas y los productos que a menudo son lanzados a los pisos o techos.
- Los recipientes a presión que a veces desfogon materiales hacia el techo.
- La carga de carros tanque que puede ocasionar derramamientos y escapes.

Se incluyen también las aguas de desecho que se forman por todo el escurrimiento superficial de las lluvias, que fluyen desde los techos, los pavimentos y otras superficies del terreno.

### **GUIA GENERAL PARA UN PROGRAMA DE CONTROL DE CONTAMINACION DE AGUA POR DESECHOS LIQUIDOS**

La industria debe adelantar un programa de control o descargas o vertimientos que incluya las siguientes actividades:

- Identificación de todas las fuentes de utilización de agua.
- Identificación de las descargas y la calidad.
- Conocimiento de la normas permisibles para las descargas.
- Verificación de la efectividad de los aspectos del diseño o proyecto para controlar la calidad de las descargas del proceso.
- Incorporación en el diseño de aspectos que prevengan trastornos y accidentes que tengan consecuencias perjudiciales.
- Control adecuado de la calidad de las descargas de aguas industriales.

El programa debe asegurar que todos los supervisores, operarios, y personal de mantenimiento de la planta se encuentren enterados de la importancia de mantener las descargas o vertimientos dentro de los requisitos de las normas, para lo cual se necesitará un adiestramiento detallado de los operarios e instrucciones en todos los turnos. Deberá destacarse la prevención de descargas no autorizadas, no sólo porque pueden acarrear pérdidas de dinero, sino también producir quejas de la comunidad y una acción por parte del gobierno.

El control efectivo de la calidad de una descarga puede requerir de un equipo costoso para el mantenimiento del efluente, de costos de operación elevados y de sustancias químicas adicionales. A menudo es más económico realizar cambios en los procesos que reduzcan la cantidad de los desechos que se van a tratar o los modifiquen para que sean de tratamiento más fácil. Un pro-

ceso podría ser más eficiente utilizando materiales de más alta calidad para la construcción, materias primas de gran pureza, un catalizador de alto grado o por el reciclaje de ciertos fluidos del proceso.

La disminución de la carga del efluente generalmente reduce las instalaciones y otros costos de operación requeridos para el tratamiento del desecho. Se han presentado situaciones en que por los altos costos de tratamiento del efluente ha sido necesario seguir un procedimiento diferente para fabricar un producto. La mejor solución es efectuar un cambio en el proceso que pueda eliminar o reducir un efluente.

Para el éxito del programa de control de contaminación en la industria se debe comprometer a todo el personal, ubicando al director de planta en la cima de su organización. El director debe mostrar mediante sus acciones y palabras que espera un control efectivo de la contaminación en todos los niveles, y deberá encargar a una persona del programa como autoridad para que incluya el control de la contaminación en la línea de operación, y además poseer un conocimiento adecuado de los procesos de la planta.

Es conveniente el establecimiento de un comité de control de la contaminación, integrado por lo jefes de operación de todos los departamentos de la planta, el cual se reuniría regularmente.

Debe establecerse un programa permanente de muestreo y de medición de los desechos, para determinar el total de emisiones o efluentes, y las correspondientes a cada departamento o proceso. La etapa siguiente consiste en el estudio conjunto con el director de plantas, el ingeniero del control de la contaminación y los respectivos jefes de departamento, sobre los métodos para reducir los desechos por medio de procedimientos de operación, modificaciones en el proceso y un mantenimiento riguroso. Los trabajadores deberán ser informados del programa de control de la contaminación y del papel que ellos desempeñan en el éxito de su práctica.

#### **Evaluación del problema de contaminación del agua**

Cuando se conoce o se sospecha la contaminación del agua, la fábrica necesita determinar los sitios de origen, las cantidades y las características de cada uno de los desechos que son descargados.

La evaluación de la contaminación que produce una industria comprende las siguientes etapas:

- Definición del problema.
- Medidas de caudales.
- Toma de muestras.

- Análisis de las muestras e interpretación de resultados.
- Separación de los vertimientos.
- Control.
- Tratamiento y disposición.

*La definición del problema incluye:*

- Ubicación de la fábrica y zona de influencia.
- Naturaleza del cauce receptor.
- Influencia del vertimiento en el cauce receptor.
- Sistema de drenaje de la fábrica y localización de la línea o líneas por donde circula el vertimiento.
- Diagrama de fabricación: fuentes de utilización de agua, cantidad de agua utilizada en el proceso, materias primas, productos finales, catalizadores, lista de materiales que entran en contacto con el agua, consumo de agua en la limpieza, frecuencia y cuantificación de derrames; análisis del consumo de agua, planes futuros de expansión.

*Medida de caudales y análisis de las muestras que incluye:*

- Determinación de los sitios de muestreo; de fácil acceso, representativos y que no interfieran con el proceso de la fábrica.
- Medidas de caudal de los vertimientos.

**Toma de muestras**

*Objetivos:*

a) Determinar la naturaleza y cantidad del desecho para evaluar el efecto del vertimiento que se descarga en el cauce receptor; b) medir la cantidad de desecho con relación a la pérdida de material en el proceso (factor de eficiencia operativa).

*Frecuencia de muestreo:*

Depende del tipo de proceso (continuo, discontinuo), de la concentración de desechos, y del método de muestreo empleado.

#### ***Duración de la muestra:***

Debe ser suficiente para asegurar que sus datos sean representativos, considerando las variaciones en la producción y las mezclas; las muestras pueden ser: a) instantáneas, útiles para una aproximación general de las cargas del vertimiento y determinar cuál vertimiento precisa de un estudio más detallado, b) compuestas, se recogen generalmente durante 24 horas, estas muestras requieren de preservación mediante refrigeración o aditivos químicos, con el fin de inhibir la actividad biológica, la pérdida de compuestos volátiles y otros cambios.

#### **Análisis de las muestras**

Las fábricas pueden descargar desechos que contienen sustancias químicas orgánicas o inorgánicas, o una mezcla de ambos. Para las fábricas que vierten solamente sustancias inorgánicas son pocos los análisis requeridos e incluyen: pH, alcalinidad, acidez, sólidos disueltos totales, temperatura, turbidez y sólidos suspendidos. A estos análisis deben agregarse los correspondientes para los inherentes al proceso de cada fábrica y que pueden causar efectos nocivos en el cauce receptor, como son: hierro, cobre, zinc, cromo, plomo, aluminio, arsénico, amonio, nitrato, cloro y sulfato (cuadro 6.1).

Las industrias con desechos orgánicos, o una combinación de desechos orgánicos e inorgánicos necesitan realizar mayor cantidad de análisis, los cuales pueden ser complejos y requerir equipo de laboratorio también complejo. Además de los enumerados anteriormente, son necesarios los siguientes análisis: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), compuestos volátiles, sólidos suspendidos, sabor, olor, color, aceite, grasa, fenoles. Como en el caso de desechos inorgánicos, se deben realizar otros análisis que dependen del tipo de industria.

#### **Separación de vertimientos**

Una vez determinado el caudal y los componentes de los vertimientos, se analizará la factibilidad de separarlos en diferentes grupos que requieran el mismo procedimiento de tratamiento. Por ejemplo:

- Aguas negras
- Ácidas y alcalinas
- Con alto contenido de materia orgánica
- Con metales y otros agentes tóxicos

**Cuadro 6.1**  
**Metales pesados presentes en desechos industriales**

Industria	Ag	As	Cd	Cr	Cu	F	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	S	Sb	Sn	Zn
Pulpa y papel				●	●			●		●	●				●
Químicos orgánicos y petroquímica		●	●	●		●	●	●		●		●		●	●
Alcalis, cloro, químicos inorgánicos		●	●	●		●	●	●		●		●		●	●
Fertilizantes		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
Refinerías de petróleo		●	●	●	●	●	●			●	●	●			●
Siderúrgicas de hierro		●	●	●	●	●	●	●		●	●		●	●	●
Siderúrgicas de otros metales	●	●	●	●	●	●		●		●		●	●		●
Galvanoplastia, automotores y aeroplanos	●		●	●	●			●			●	●			
Vidrio, cemento, productos de asbesto, etcétera				●											
Textilerías				●											
Curtiembres				●											
Generación de energía con vapor				●											●

Fuente: *Removing heavy metals from waste waters*. Environmental Science and Technology, 1972.

- Pluviales
- Con aceites y grasas
- De lavado de pisos
- De refrigeración y efluentes no contaminados

La separación del vertimiento reduce el volumen y concentra la corriente de desechos, lo que hace menos costoso su control.

### **Métodos de control de desechos líquidos industriales**

#### *Limpieza y mantenimiento de la industria*

Incluye instrucciones precisas sobre los procedimientos de operación, de limpieza y de mantenimiento; sistema de supervisión que asegure el cumplimiento de las normas; válvulas; empaques de las bombas; drenajes y tuberías o redes subterráneas; escapes de tanques de almacenamiento; limpieza y lavado de reactores, tambores y pisos; inspección regular de máquinas y recipientes equipados con rebosaderos.

#### *Cambio de materias primas*

Algunas veces es necesario y factible evitar la producción de un desecho cambiando la materia prima; por ejemplo: en una curtiembre podrían sustituirse las pieles saladas por pieles crudas y evitar el problema que crea el lavado de la sal de las pieles preservadas.

#### *Modificaciones en el proceso*

Generalmente es mejor y más económico reducir o eliminar una corriente de desechos que tratarla; consiste en detener la contaminación antes de que se produzca. En la instalación de un nuevo proceso o producto deben considerarse las modificaciones en el proceso y diseño del equipo que eliminen o reduzcan la generación de desechos. En una planta ya existente, la reducción de los desechos que se descargan a un curso de agua o a una planta de tratamiento a menudo va acompañada de modificaciones en el proceso, separación de corrientes, o recuperación y reutilización de materiales. La reducción de desechos puede iniciarse con un completo balance de materiales de todos los procesos que utilizan agua y producen desechos. El balance detallado del agua incluye información sobre cantidad de agua utilizada, contenido de agua en las materias primas, pérdidas por evaporación contenido de vapor de agua en las corrientes de gas, contenido de agua del producto y volumen de corrientes de agua residual. A partir de la medición exacta de los volúmenes y del aná-

lisis de los constituyentes de los desechos en las distintas corrientes puede determinarse y corregirse la principal fuente de pérdida de agua.

#### *Combustión directa*

La quema directa de los desechos orgánicos de los procesos industriales es un método de disposición de uso común. La disminución del agua y la concentración del efluente de agua de desecho en más de 10% de contenido orgánico permite emplear la quema directa con un costo razonable. La combustión húmeda con aire u oxígeno a 300°C y presiones superiores a 1.750 psi se ha empleado para lodos, pero todavía no se ha extendido su uso para los desechos industriales.

#### *Quema catalítica y evaporación*

El quemador catalítico utilizado ampliamente para el control de las emisiones olorosas, también puede utilizarse para destruir materia orgánica si el agua de desecho es evaporada previamente.

#### *Reutilización*

La utilización de aguas de desecho por recirculación es una práctica usual en la mayor parte de las industrias. Este procedimiento, sin embargo, no significa la reducción de la contaminación sino una concentración en un volumen más pequeño.

La recirculación del agua generalmente adiciona sustancias químicas para control de corrosión, escamas y bacterias.

Sin embargo, la recirculación de soluciones débiles que contienen materias primas, productos intermedios y finales, puede proporcionar a la empresa cierta economía.

### **MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO DE USO MAS FRECUENTE**

Para que las aguas industriales de desecho puedan descargarse en un sistema de alcantarillado público, deben cumplir con ciertas normas de calidad (Véase Normas para efluentes).

Los procesos de tratamiento que se emplean son en la práctica adaptaciones de los métodos de tratamiento de aguas negras. Para su selección es necesario considerar:

La naturaleza del desecho: composición química y variabilidad en la descarga. La presencia de metales pesados dificulta la acción del tratamiento biológico (cuadro 6.2)

**Cuadro 6.2**

**Efluentes líquidos industriales**

Industria productora del efluente	Origen de los desechos	Características principales de los desechos	Tratamiento y métodos de disposición
Textiles	Trama de fibras.	Alcalinidad alta, coloreado, temperatura alta, cantidad grande de sólidos suspendidos, concentración alta de materia oxidable por vía biológica.	Neutralización, precipitación química, tratamiento biológico, aeración y filtración biológica.*
Curtitambres	Pelambre, ablandamiento, limpieza de pieles.	Cantidad alta de sólidos, sal, dureza, sulfuros, cromo, pH, cal precipitada, y concentración alta de materia oxidable por vía biológica.	Sedimentación y tratamiento biológico.
Lavanderías	Lavado de ropa.	Turbidez alta, alcalinidad y sólidos orgánicos.	Cribado, precipitación química, flotación, absorción.
Alimentos enlatados	Recorte, selección, zumo, y pelado de frutas y vegetales.	Altos sólidos suspendidos, materia coloidal y orgánica disuelta.	Cribado, absorción en el suelo, irrigación, lagunas.
Productos lácteos	Diluciones de leche entera, descremada, mantequilla, suero.	Alta materia orgánica disuelta, principalmente proteína, grasa y lactosa.	Tratamiento biológico, aeración, filtración biológica, tratamiento por procesos de lodos activados.

Continuación

Industria productora del efluente	Origen de los desechos	Características principales de los desechos	Tratamiento y métodos de disposición
Cervecerías y destilerías	Maceración y exprimido de granos, residuo de la destilación del alcohol.	Altos sólidos suspendidos, almidones fermentados conteniendo nitrógeno.	Recuperación de materia prima, concentración por centrifugación y evaporación, filtro biológico, empleo en piensos.
Carne	Corrales de ganado, matanza de ganado, extracción de grasas y huesos, residuos en condensados, grasa y agua de lavado, desperdicios de pollos.	Alta materia orgánica suspendida y disuelta, sangre, grasas y proteínas.	Cribado, sedimentación, flotación, filtración biológica.
Alimentos de animales	Excreta de animales.	Concentración alta de sólidos orgánicos suspendidos y materia oxidable por vía biológica.	Disposición en la tierra y lagunas anaeróbicas.
Productos farmacéuticos	Misceláneo, aguas de lavado y líquido filtrado	Concentración alta de materia orgánica suspendida y disuelta, incluyendo vitaminas.	Evaporación y quema, uso en piensos.
Levadura	Residuo de filtración de la levadura.	Concentración alta de sólidos principalmente orgánicos, y de materia oxidable por vía biológica.	Digestión anaeróbica y filtración biológica.

(Continúa)

Continuación

Industria productora del efluente	Origen de los desechos	Características principales de los desechos	Tratamiento y métodos de disposición
Encurtidos	Agua de limón, salmuera, almibar, semillas, pedazos de cohombro.	pH variable, altos sólidos suspendidos, color, materia orgánica.	Limpieza, cribado.
Café	Pulpa y fermentación del grano de café.	Concentración alta de sólidos suspendidos y de materia oxidable por vía biológica.	Cribado, sedimentación, filtración biológica.
Pescado	Desechos de centrífuga, prensado de pescado, evaporador y otras aguas de lavado.	Concentración alta de materia oxidable por acción biológica, sólidos orgánicos y otros.	Evaporación, remanente al mar.
Arroz	Remojo, cocido y lavado de arroz.	Concentración alta de materia oxidable por acción biológica y de sólidos suspendidos.	Coagulación con cal.
Pastelerías	Lavado y engrase de recipientes	Concentración de materia oxidable por acción biológica, grasa, azúcar, harina, detergentes.	Sujeta a oxidación biológica.
Papel y celulosa	Cocción, depuración y lavado de fibras, tamizado de pulpa de papel.	pH alto o bajo, color, sólidos suspendidos y disueltos, coloides, rellenos inorgánicos.	Sedimentación, tratamiento en lagunas de oxidación, tratamiento biológico, aeración, recuperación de subproductos.

## Continuación

Industria productora del efluente	Origen de los desechos	Características principales de los desechos	Tratamiento y métodos de disposición
Productos fotográficos	Soluciones utilizadas de revelador y fijador.	Alcalino, contiene agentes orgánicos e inorgánicos.	Recuperación de la plata; descargue de los desechos en el alcantarillado.
Acero	Coquización del carbón, lavado de gases del alto horno, limpieza del acero.	pH bajo, ácidos, cianuro, fenol, mineral, coque, caliza, álcalis, aceites, sólidos suspendidos.	Neutralización, recuperación y reutilización, coagulación química.
Productos de fundición de hierro	Utilización de arena.	Concentración alta de sólidos suspendidos, principalmente arena, cal y carbón.	Cribado, secado de la arena.
Productos revestidos de metal	Retiro de óxido, limpieza y plateado de metales.	Ácidos, metales, tóxicos, material mineral.	Cloración alcalina de cianuro, reducción y precipitación de cromo, y precipitación de otros metales con cal.
Caucho	Lavado de látex caucho coagulado, impurezas del caucho crudo.	Concentración alta de materia oxidable por vía biológica y de sólidos suspendidos, pH variable, cloruros.	Aeración, clorinación, sulfonación, tratamiento biológico.
Vidrio	Pulido y limpieza del vidrio.	Color rojo, sólidos suspendidos alcalinos no sedimentables.	Precipitación.

Continúa

(Continuación)

Industria productora del efluente	Origen de los desechos	Características principales de los desechos	Tratamiento y métodos de disposición
Preservación de madera	Condensados.	Concentración alta de materia oxidable por vías biológica y química; sólidos, fenoles.	Coagulación química: laguna de oxidación y otro tratamiento biológico aeróbico.
Manufactura en madera	Lavado de gomas (cola).	Concentración alta de materia oxidable por vía biológica, fenoles.	Tanques de sedimentación, incineración.
Detergentes	Lavado y purificación de jabones y detergentes.	Concentración alta de materia oxidable por vía biológica y de jabones saponificados.	Flotación, precipitación con $\text{CaCl}_2$ , despumación
Plaguicidas	Lavado y purificación de productos como 2, 4D y otros.	Concentración alta de materia orgánica, de estructura aromática, tóxica a las bacterias y peces; ácidos.	Dilución, almacenamiento, absorción con carbón activado, cloración alcalina.
Plásticos y resinas	Preparación y uso del polímero, derrames y limpieza del equipo.	Acidos, cáusticos, materia orgánica disuelta como fenoles, formaldehído.	Descarga al alcantarillado, reutilización, descargue controlado.

\*Filtro percolador

**Grado de tratamiento o calidad del efluente o vertimiento requeridos.**

**Dificultades en la operación de los procesos de tratamiento.**

Los tratamientos que existen para las aguas de desecho se clasifican, según el grado de reducción de la contaminación y del mecanismo del proceso, en los siguientes grupos:

**Tratamiento previo o primario:** elimina las materias sólidas que se sedimentan o flotan y reduce moderadamente la materia orgánica biodegradable.

**Tratamiento secundario:** elimina la materia orgánica biodegradable no retirada en el tratamiento primario.

**Tratamiento terciario:** elimina la materia orgánica no biodegradable, los sólidos en suspensión y las sales inorgánicas (cuadro 6.3)

En los cuadros 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7 se hace una descripción breve de los diferentes métodos de tratamiento de agua de desecho.

#### **Normas para efluentes**

Los parámetros usuales que miden la contaminación de las aguas industriales de desecho son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Sólidos suspendidos y sólidos totales en suspensión.
- Metales pesados.
- pH.

La EPA (Environmental Protection Agency-EUA) ha establecido normas para los efluentes y limitaciones para varias industrias. El cuadro 6.4 enumera los parámetros que las industrias deben controlar.

#### **Remoción de materias sólidas (tratamiento primario)**

Consiste en la eliminación de cuerpos y sólidos de gran tamaño y alta densidad, como trapos, maderas, plásticos, arena, piedra, materias inorgánicas, y la separación de grasas y aceites.

**Cuadro 6.3****Parámetros que deben controlarse en los efluentes industriales**

Industria	Parámetros por controlar
Enlatados, frutas y vegetales preservados	DBO sólidos totales en suspensión. Coliformes fecales, pH.
Químicos inorgánicos	Sólidos totales en suspensión, pH Amoníaco. Demanda química de oxígeno. Metales pesados, fluoruros, azufre, sulfitos, sulfuros, cianuros, carbón orgánico total, amonio.
Hierro y acero	Sólidos totales en suspensión, pH Cianuros, fenoles, amonio, metales pesados, sulfitos, fluoruros, nitratos, manganeso.
Limpieza de metal	Metales pesados, sólidos en suspensión pH, cianuro, fluoruros, fósforo.
Químicos orgánicos	DBO, sólidos en suspensión, pH Fenoles, cianuros, metales pesados.
Refinerías de petróleo	DBO, DQO, sólidos en suspensión, pH, fenoles, amonio, sulfuros, cromo.
Plásticos y sintéticos	DBO, DQO sólidos en suspensión, pH, metales pesados, fenoles.
Pulpa y papel	DBO, sólidos en suspensión, pH, color
Central termoeléctrica	Solidos en suspensión, pH. Bifenoles policlorinados, cloro. Metales pesados, calor.
Textiles	DBO, DQO, coliformes fecales, pH, fenoles, sulfuros, cromo, color.

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno  
DQO = Demanda química de oxígeno

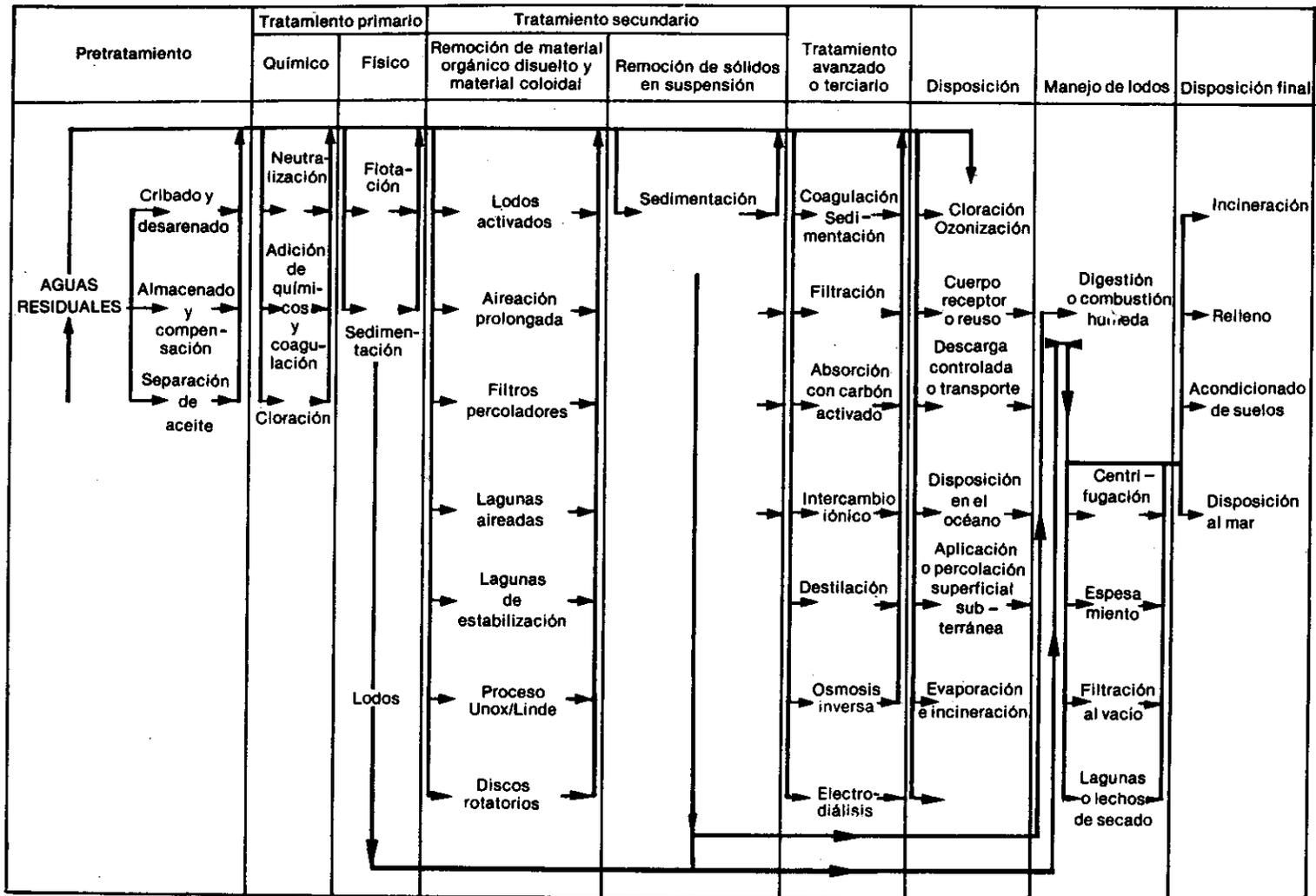
Cuadro 6.4

## Método de tratamiento de mayor aplicación y características o desechos que remueve

Métodos de tratamiento		Aceite, grasas	Sólidos sedimentables	Sólidos en suspensión	Metales pesados	Materia orgánica biodegradable	Materia orgánica no biodegradable	Nutrientes fosfatos, nitratos	Sales minerales disueltas
Tratamiento primario	Decantación (sedimentación)		X	X					
	Flotación	X	X	X					
Tratamiento secundario	Coagulación o precipitación química			X	X	X	X		
	Tratamiento biológico convencional: filtración biológica o lodos activados			X		X			
Tratamientos avanzados	Flotación			X			X		
	Precipitación química						X	X(fosfatos)	
	Oxidación química						X		
	Filtros y lechos de lónico						X	X	X
							X	X	

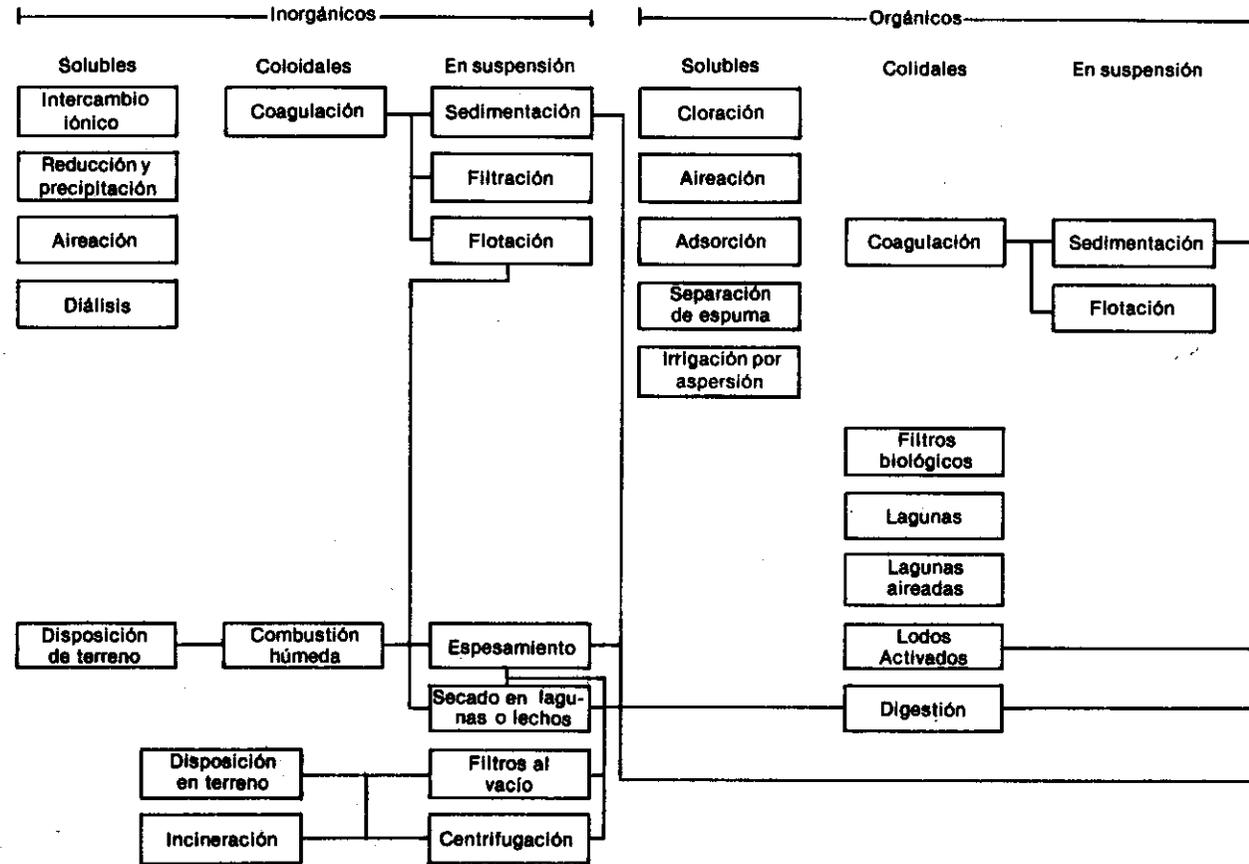
Fuente: Manual de tratamientos de aguas residuales industriales. P.M. Braile, JEWA, Calvancanti. CETESB, 1979.

**Cuadro 6.5**  
**Opciones en procesos de tratamiento**



Fuente: *Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales*. Fabián Yáñez. Curso intensivo sobre diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para países en desarrollo. OPS, Lima, 1976.

**Cuadro 6.6**  
**Proceso para la remoción de contaminantes industriales**



Fuente: de *Industrial water pollution control*. Eckenfelder, W.W., 1986.

**Cuadro 6.7**

**Resumen de métodos de tratamiento de aguas de desecho**

Proceso	Aplicación común	Limitaciones de aplicación	Cambios principales en el aspecto de calidad
<b>Separación por gravedad</b>			
<b>Sedimentación simple</b>	Desarenado de aguas residuales crudas	No especificado	Remoción de sólidos pesados en suspensión no transportables a una velocidad de 30 cm/seg.
	Tratamiento primario con o sin remoción de natas	No especificado	25-40% reducción de DBO 40-70% reducción de sólidos en suspensión ± 50% reducción de turbiedad 25-75% reducción de bacterias 2% reducción de detergentes (SAL)
	Concentración de lodo activado de retorno en tratamiento secundario	Licores con contenidos de sólidos de 1 500-1 800 mg/l.	Concentra el lodo a 20-50% de su volumen original Concentra el lodo de 2 a 10 veces su contenido de sólidos original
	Reducción de BDO y sólidos en suspensión en desechos industriales orgánicos e inorgánicos	No especificado	Altamente dependiente de la naturaleza del desecho que se va a tratar.

Continúa

Continuación

Proceso	Aplicación común	Limitaciones de aplicación	Cambios principales en el aspecto de calidad
Sedimentación después de coagulación química	Desechos industriales	Depende del tipo de desecho	Variable, dependiendo de la naturaleza del desecho
	Remoción de fosfatos de aguas residuales	No especificado	Reduce fosfatos solubles a cantidades trazadas
<i>Tratamiento biológico</i>			
Filtros percoladores con sedimentación secundaria	Tratamiento secundario desechos industriales biodegradables	Presencia de sustancias tóxicas	60-85% reducción de DBO 70-90% reducción de sólidos en suspensión 90-95% reducción de bacterias 30-35% reducción de SAB 80-90% reducción de SAL
Lodos activados con sedimentación secundaria	Tratamiento secundario de desechos industriales biodegradables	Presencia de sustancias tóxicas	70-98% reducción de DBO 85-98% reducción de sólidos en suspensión 95-98% reducción de bacterias 30-50% reducción de SAB 90-99% reducción de SAL
Lagunas de estabilización	Tratamiento de desechos industriales biodegradables	Presencia de sustancias tóxicas	75-95% reducción de DBO 90-99% reducción de sólidos en suspensión 98-99.9% reducción de bacterias 30% reducción de SAB 56-93% reducción de SAL

(Continúa)

Continuación

Proceso	Aplicación común	Limitaciones de aplicación	Cambios principales en el aspecto de calidad
<i>Aireación</i>			
Aireación con aire comprimido	Desaendores aireados, separación de grasa, separación de sólidos por flotación, tratamiento biológico, fraccionamiento de espuma, transferencia de oxígeno	Alto costo en favor de aireación mecánica superficial	Mantener condiciones aeróbicas Contrarrestar fuerza de gravedad en flotación Reducción de SAB o SAL a 1-2 mg/l
Aireación mecánica superficial	Tratamiento biológico, mezcla de biomasa, transferencia de oxígeno	No especificado	Mantener condiciones aeróbicas
Aireación por aspersión o con cascadas	Tratamiento de desechos industriales	Variables o no especificados	Desprendimiento de gases Remoción parcial de H <sub>2</sub> S y de otros gases de descomposición
<i>Filtración</i>			
Cribas finas	Desechos industriales: pulpa y papel, enlatadoras, etcétera	Ninguna especificada	Varía con la naturaleza del desecho

(Continúa)

Continuación

Proceso	Aplicación común	Limitaciones de aplicación	Cambios principales en el aspectos de calidad
<b>FILTRACION</b>			
microcribas	Clarificación de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tratamiento de desechos industriales.	Tamaño de partículas más pequeñas o más grandes que microcriba	87-96% reducción en organismos microscópicos 60-90% reducción en partículas microscópicas 50-60% reducción de sólidos en suspensión de efluente de filtro biológico 30-40% reducción en turbiedad
Filtros lentos	Tratamiento terciario de agua residual. Sistema de reclamación de agua	Turbiedad relativamente baja	90-95% reducción de DBO 85-95% reducción de sólidos en suspensión 95-98% reducción de bacterias 90-99% reducción de surfactantes
<b>Cloración</b>			
Cloro líquido y compuestos de cloro	Desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Ayuda en remoción de grasas, control de moscas en filtros, limpieza de difusores, remoción de H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub> , control de formación de películas biológicas en alcantarillado	No especificado	99.9% reducción en bacterias 1) Con 15 min contacto a) Primario 20-25 mg/1 b) Filtros biológicos 15 mg/1 c) Lodos activados 8 mg/1 d) Aireación extendida 5 mg/1 2) Con 2 h contacto Lagunas de estabilización 15 mg/1

(Continúa)

(Continuación)

Proceso	Aplicación común	Limitaciones de Aplicación	Cambios principales en el aspectos de calidad
<b>Digestión</b>			
Digestión anaeróbica	Estabilización primaria y secundaria de lodos	pH > 6.8. Ausencia de sustancias tóxicas	50% reducción de sólidos volátiles en suspensión Mineralización de lodos.

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

SAL = Sulfato alquil lineales

SAB = Sulfato alquil benceno

Las operaciones que se emplean son: tamizado o cribado, desmenuzado, separación de arena, sedimentación.

#### *Cribado*

Los objetos grandes se suprimen haciendo pasar el agua de desecho a través de tamices. Los sólidos retenidos se recogen por procedimientos manuales o automáticos. En muchas industrias es el primer tratamiento, especialmente en las que procesan alimentos.

#### *Desmenuzado*

Se trata de fragmentación y trituración de materiales sólidos. Las aguas de desecho que contienen sólidos en suspensión no pueden descargarse en el sistema de alcantarillado, por lo que se hace necesario su tratamiento mecánico mediante el empleo de dilaceradores.

#### *Separación de arena*

Tiene por objetivo separar la arena y las partículas inorgánicas que producen desgaste por abrasión en los equipos.

#### *Sedimentación*

Por este tratamiento se separa la mayor parte de los sólidos suspendidos en las aguas de desecho, del orden de 40 a 60%.

Cuando se agregan productos químicos, se eliminan casi todos los sólidos coloidales y los sedimentables. Los tanques de sedimentación que se utilizan pueden ser:

- Sépticos.
- De sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.
- De doble acción (como los de Imhoff).
- Clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos.

#### *Tanques sépticos*

Diseñados para mantener las aguas de desecho a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaeróbicas, durante un periodo de 12 a 24 horas. Los sólidos sedimentables se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose

gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie; posteriormente el gas escapa y los sólidos se sedimentan nuevamente. Flotación y sedimentación continuas hacen que el agua que sale del tanque contenga sólidos.

Los tanques sépticos prácticamente no se utilizan, a no ser en pequeñas instalaciones o en áreas rurales.

Tanques de sedimentación simple: su función es separar los sólidos sedimentables en capas o estratos. Los sólidos asentados se retiran a intervalos frecuentes para que no se desarrolle la descomposición con formación de gases.

### **Remoción de sólidos en suspensión**

Se logra la separación por sedimentación, flotación, floculación y filtración.

Como se anotó anteriormente, la sedimentación consiste en separar de una suspensión un fluido claro que sobrenada la superficie, y un lodo con una concentración alta de materias sólidas. Se logra disminuyendo la velocidad de circulación de la corriente de desechos líquidos. La sedimentación puede ser continua o discontinua. Se utilizan tanques sedimentadores rectangulares o circulares. Su capacidad se determina a partir del tiempo de permanencia de las aguas de desecho en el tanque, mediante la siguiente ecuación.

Capacidad del tanque sedimentador ( $m^3$ ) = Volumen de las aguas de desecho ( $m^3/h$ )  $\times$  Tiempo de permanencia (h).

La flotación se emplea para separar sólidos o líquidos no miscibles y de baja densidad de una corriente líquida, introduciendo en el sistema una fase gaseosa, que generalmente es aire. Las burbujas de aire que se producen se adhieren o son atrapadas en las partículas, consiguiendo que éstas se mantengan a flote, y formando una capa de espuma que se elimina por procedimientos manuales.

La separación por flotación no depende del tamaño y densidad de las partículas que se van a remover sino de sus propiedades superficiales para la fijación de las burbujas de aire.

La filtración consiste en hacer pasar un fluido que contiene sólidos en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del fluido pero no de las partículas sólidas. Los materiales filtrantes utilizados son arena, carbón, tierras diatomáceas, grava, piedra triturada, escorias de alto horno.

### **Neutralización**

Se emplea cuando las aguas de desecho contienen productos ácidos o alcalinos, con el fin de obtener un efluente que tenga un pH entre 6 y 9.

Cuando los efluentes de una planta tienen carácter ácido y alcalino, la neutralización podría efectuarse mediante la mezcla de estas aguas.

Otro procedimiento de neutralización es el de lechos fijos, que consiste en hacer pasar el efluente de aguas residuales a través de un lecho.

Para la neutralización de desechos ácidos se emplea una capa de sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ).

La neutralización también se logra mediante productos químicos tales como:

- Lechada de cal para aguas ácidas.
- Sosa cáustica para aguas ácidas.
- Ácido sulfúrico para aguas alcalinas.
- Dióxido de carbono para aguas alcalinas.

### **Remoción de sólidos coloidales**

La coagulación química es el proceso utilizado para la remoción de sólidos coloidales. Consiste en la formación de flóculos por unión de las partículas en suspensión existentes en las aguas y provocada por la adición de sustancias químicas.

Los productos químicos más empleados son: alumbre, aluminato sódico, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico, óxido de magnesio.

### **Remoción de sólidos inorgánicos**

Entre los sólidos inorgánicos que frecuentemente se remueven de los desechos líquidos están los cloruros, los fosfatos, los nitratos y los metales.

Los métodos de tratamiento utilizados son:

- Evaporación.
- Electrodialisis.

— Intercambio iónico.

— Osmosis inversa.

— *Coagulación química*

### **Remoción de sólidos orgánicos**

Los métodos que generalmente se utilizan son los biológicos o de oxidación biológica. Estos métodos se dividen en:

— Anaeróbico: digestión anaeróbica.

— Aeróbico: tanques de estabilización (lagunas de oxidación), lagunas aireadas, filtros biológicos o percoladores, lodos activados.

### *Tratamiento biológico anaeróbico*

Descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular. Las bacterias que provocan la descomposición de la materia orgánica son de dos clases: unas formadoras de ácidos, las cuales hidrolizan y fermentan los compuestos orgánicos pasándolos a ácidos orgánicos, principalmente acético y propiónico, otras formadoras de metano, las cuales convierten a estos ácidos en metano y dióxido de carbono.

Así, los productos finales de la acción de bacterias anaeróbicas son:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y ácidos grasos. El  $\text{NH}_3$  se combina con el  $\text{CO}_2$  para formar bicarbonato de amonio.

El empleo industrial del tratamiento anaeróbico se ha limitado a la industria de los alimentos. A menudo la industria utiliza solamente una laguna abierta y deja que la naturaleza actúe. Un diseño y control inadecuados ocasionan la producción incontrolada de  $\text{H}_2\text{S}$  y de ácidos aminos causantes de olores molestos.

El tratamiento anaeróbico se utiliza para desechos que tienen una demanda bioquímica de oxígeno de más de 2 000 mg/l. Las plantas de tratamiento anaeróbico bien diseñadas pueden remover en forma efectiva y a bajo costo hasta 90% de la demanda bioquímica de oxígeno de un desecho excesivamente cargado de materias orgánicas.

Generalmente, el tratamiento anaeróbico es seguido por uno aeróbico por dos razones: el proceso anaeróbico produce una considerable cantidad de sólidos no sedimentables y ácidos acético y propiónico; el proceso aeróbico

metaboliza los ácidos orgánicos y flocula las partículas coloidales. El tratamiento anaeróbico es efectivo para el tratamiento de desechos cítricos, de mataderos y de fábricas de papel.

Una de las desventajas de los procesos anaeróbicos es la necesidad de emplear temperaturas elevadas (35°C) para alcanzar rendimientos adecuados.

#### *Tratamiento biológico aeróbico*

- Tanques o lagunas de estabilización: es el proceso más sencillo de oxidación biológica en un medio aeróbico. Consiste en lagunas construidas en el terreno con una profundidad de 1 a 2 m. La materia orgánica se desintegra por los organismos aeróbicos, se forma  $\text{CO}_2$ , el cual es utilizado por las algas.

El oxígeno del  $\text{CO}_2$  es liberado y se disuelve en el líquido donde crecen las algas. La materia orgánica se convierte en algas y las aguas reciben oxígeno para su posterior descomposición aerobia.

Los tanques de estabilización pueden ser de dos clases:

- a) Tanque aerobio: el suministro de oxígeno proviene de las algas; la profundidad de la laguna debe ser de 0.15 a 0.46 m.
  - b) Tanque facultativo: funciona de manera aerobia en la superficie y anaerobia en el fondo.
- Lagunas aireadas: similares a los tanques de estabilización, excepto en el suministro de oxígeno, que se realiza mediante aireadores mecánicos superficiales con lo que se logra un aumento de rendimiento y la reducción de la superficie necesaria.
  - Filtro biológico percolador: consiste de tanques poco profundos, usualmente circulares, con un lecho de piedra o de material plástico. El líquido se aplica por medio de un distribuidor, continua o intermitentemente, sobre la parte superior del tanque. El líquido escurre por entre el filtro o lecho, pasa a través de él, y se recoge por el fondo. El tamaño de los vacíos o agujeros permite que el líquido fluya sobre el medio y circule aire. El nombre de estas unidades como filtros es incorrecto porque la remoción principal ocurre por un proceso de absorción que se presenta sobre las superficies por la población biológica que cubre el medio filtrante.

La sustancia orgánica se incorpora dentro de la población biológica y libera a la materia inorgánica líquida resultante de la oxidación de los orgánicos absorbidos. El oxígeno, suministrado por el aire que circula, permite la oxidación aeróbica en la capa superficial de la población biológica.

La composición de la población o película biológica además de bacterias, contiene un gran número de organismos que se alimentan de materia orgánica, tales como, larvas de insectos, arácnidos, lombriz acuática, hongos y otros. Dentro de las bacterias, la principal y mayor en número es la heterotrófica. Estas son alimento para protozoos, nematodos, rotíferos (animales invertebrados) y otros invertebrados.

A medida que crece la población biológica, por efecto de la absorción de la materia orgánica de una forma aerobia, aumenta el espesor de la capa activa de limo o lodo unida al medio, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar toda la capa pasándose a condiciones anaeróbicas. Las nuevas aguas de desecho que llegan al filtro en estas condiciones arrastran el lodo, debido a ello después de los filtros se instala un clarificador para separar estos lodos.

El distribuidor giratorio incrementa el rendimiento del filtro al asegurar una distribución completa y uniforme sobre toda la superficie filtrante.

El empleo de materiales plásticos como filtro que proporciona una relación conocida de superficie/volumen mejora las eficiencias de remoción y permite la utilización de mayores profundidades.

El filtro percolador no debe usarse con desechos que tengan un alto contenido de sólidos orgánicos en suspensión. Los sólidos absorbidos en los limos pueden rápidamente llegar a ser anaeróbicos y los olores podrían originar molestias.

Los filtros percoladores de piedra rara vez pueden cargarse con más de 23 kg de DBO por día por 28.3 m<sup>3</sup> de medio. Las unidades de medios plásticos se han utilizado con cargas de 225 kg de DBO por día por 28.3 m<sup>3</sup> de medio.

El sistema de filtro percolador incluye un filtro percolador, el manejo y tratamiento del lodo sedimentado y un clarificador.

Lodos activados: el desecho es estabilizado biológicamente en un tanque de aireación en condiciones aerobias obtenidas por el uso de equipos mecánicos de aireación o por la difusión de aire. La masa biológica resultante es separada del líquido en un tanque de sedimentación. Una parte de los sólidos biológicos sedimentados es recirculada continuamente. En el proceso de lo-

*dos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes y responsables de la descomposición de la materia orgánica.*

El oxígeno se suministra por varios medios tales como: agitadores o inyección de aire dentro de la mezcla de lodo, causando mezcla turbulenta con burbujas de aire pequeñas. La aireación es seguida de una separación líquido-sólido, y una porción del lodo sedimentado se recircula al agua de desecho que ingresa. En la etapa de aireación, la fracción de orgánicos sujetos a degradación biológica se convierte en fracción de inorgánicos, y el remanente queda como lodo activado adicional.

El lodo activado consiste en microorganismos, generalmente similares a los encontrados en el lodo que cubre el medio, el filtro percolador, la materia orgánica no viviente y la materia inorgánica.

El proceso de tratamiento por lodos activados se emplea ampliamente en su forma original o en sus formas modificadas: convencional, mezcla completa, aireación escalonada, aireación modificada, estabilización por contacto, aireación prolongada, proceso Krause.

#### **DESECHOS LIQUIDOS EN LAS INDUSTRIAS PRODUCTORAS Y PROCESADORAS DE ALIMENTOS**

La contaminación del agua es el problema más importante que ocasionan las empresas que fabrican y procesan alimentos. Las características de las aguas de desecho que proceden de la mayor parte de estas industrias se indican en los cuadros 6.8 y 6.9. Las cantidades de contaminantes y los volúmenes de agua que se consumen varían dependiendo de la actividad a que se dedique la industria. Sin embargo, una característica común a todas estas aguas de desecho es su gran biodegradabilidad. Esta característica podría causar problemas si las aguas de desecho no se tratan o no se procesan rápidamente, pero a su vez, estas aguas de desecho pueden ser más fácilmente sometidas a tratamiento biológico, que es uno de los métodos más económicos.

#### **Tratamiento de las aguas de desecho**

Después de la neutralización, y con excepción de aguas cargadas de sales y de sueros, las aguas de desecho de las industrias fabricantes y procesadoras de alimentos son biodegradables. Una práctica usual es la reutilización del agua cuando es factible económicamente, lo cual reduce considerablemente el volumen del agua de desecho que requiere del tratamiento.

En el cuadro 6.10 se presenta un resumen de los métodos de tratamiento para aguas de desecho provenientes de las agroindustrias. La selección del méto-

**Cuadro 6.8**

**Características de las aguas de desecho producidas por las industrias fabricantes y procesadoras de alimentos**

Tipo de agua de desecho	Caudal m <sup>3</sup> tm prod. DBO <sub>5</sub>	Características de aguas de desecho							Observaciones
				Sólidos suspendidos		grasa, aceite emulsionado		pH	
		mg/l	kg/tm	mg/l	kg/tm	mg/l	tm		
Azúcar	3.32 a 48.5		0.63 a 20.0		0.06 a 94.1			8.5	
Productos lácteos	0.08 a 20.33		0.02 a 57.2		0.03 a 11.6			4.0 a 12.0	
Pescado y productos del mar	1.06 a 175	84 a 32 700	1.79 a 210	26.2 a 18 300	0.70 a 370	15.1 a 12 000	0.43 a 53	5.8 a 8.5	
Malterías	7.36*	700	5.00*	117	0.854*			6.7	x = m <sup>3</sup> /tm de cebada
Destilerías	7.44*	480	3.39*	250	2.41*			7.6	x = por tm de grano procesado
Vinos destilados	2.00*	8 990	18.0*	4 470	17.9*			3.5 a 4.8	x = por tm de uvas
Vino de mesa	1.96*	790	1.55*	152	0.30*			3.0 a 11.3	x = por tm de uvas
Cítricos	10.12		3.2		1.3				

(Continúa)

(Continuación)

Tipo de agua de desecho	Caudal m <sup>3</sup> tm prod. DBO <sub>5</sub>	Características de aguas de desecho						Observaciones	
				Sólidos suspendidos		grasa, aceite emulsionado			pH
		mg/l	kg/tm	mg/l	kg/tm	mg/l	tm		
Manzanas	3.66		5.0		0.5				
Papas	10.27		18.1		15.9				
Planta procesadora de carne	10.54		5.7		2.7		2.1		
De aves de corral	14.17 a 1832	370 a 620	8.0 a 8.7	120 a 296	5.0 a 6.3	170 a 230			
Aceites comestibles	2.34 a 6.76		1.67 a 24.9		1.81 a 24.6		1.00 a 28.1	9.7	
De molinos	2.5 a 41.7	225 a 14 633	0.11 a 108.4	33 a 14 824	0.07a 109.8			3.5 a 8.6	
Bebidas no alcohólicas	2.64 a 5.07	380 a 660	1.92 a 2.32	160 a 170	0.57 a 0.88			10.0 a 114	
Huevos, procesamiento y ruptura	1,066 a 2.60	3 000 a 3200	8.4* a 22.8	539 a 803					
Mataderos y frigoríficos		1 500a 2 500		800				7	
Desechos agrícolas		1 000a 2 000		1500 a 3 000				7,5 a 8.5	

Fuente: Pollution problems in the agro-industries.

**Cuadro 6.9****Principales contaminantes en los desechos Industriales**

Contaminante	Origen de los desechos
Acetaldehído	Plásticos, colorantes, caucho sintético
Acido acético	Vinícolas, industrias textiles, destilación de madera, industrias químicas
Acetileno	Síntesis químicas
Acilonitrilo	Plásticos, plaguicidas, caucho sintético
Amoníaco	Operaciones de limpieza con agua amoniacal
Acetato de amonio	Industrias textiles, preservación de carne
Cloruro de amonio	Tintura y lavado en curtiembres
Dicromato de amonio	Mordientes, litografía, fotograbado
Fluoruro de amonio	Tintura en industrias textiles, preservación de madera
Nitrato de amonio	Fertilizantes, explosivos, industrias químicas
Sulfato de amonio	Fertilizantes
Anilina	Tinturas, barnices, cauchos
Acetato de bario	Mordientes en tintorería
Cloruro de bario	Fabricación de tintas, operaciones de curtido
Fluoruro de bario	Tratamiento de metales
Benceno	Industrias químicas, síntesis de compuestos orgánicos, industrias textiles
Acetato de butilo	Plásticos, barnices, colores artificiales
Disulfuro de carbono	Industrias químicas

Continúa

(Continuación)

Contaminante	Origen de los desechos
Tetracloruro de carbono	Industrias químicas
Cromo	Cromado de metales, galvanización, curtiembres, tintas, explosivos, papel, aguas de refrigeración, mordientes, tinturas en industrias textiles, fotografía, cerámica
Cobalto	Pigmentos
Cloruro de cobre	Galvanoplastia de aluminio, tintas indelebles
Nitrato de cobre	Tinturas textiles, impresiones fotográficas, insecticidas
Sulfato de cobre	Curtiembres, tinturas, galvanoplastia, pigmentos
Diclorobenceno	Solvente para ceras, insecticidas
Dictilamina	Industria petroquímica, fabricación de resinas, Industria farmacéutica, tintas
Etilamina	Refinación de aceite, síntesis orgánicas y fabricación de caucho sintético
Sulfato ferroso	Fábricas de conservas, curtiembres, textiles, minas, cromado de metales
Formaldehído	Curtiembres, resinas
Furfural	Refinación de petróleo, fabricación de barnices, insecticidas fungicidas y germicidas
Acetato de plomo	Impresoras, tintorerías y fabricación de otras sales de plomo
Cloruro de plomo	Fósforos, explosivos
Sulfato de plomo	Pigmentos, baterías, litografías
Mercaptano	Alquitrán de carbón y celulosa

(Continúa)

(Continuación)

Contaminante	Origen de los desechos
Cloruro de mercurio	Fabricación de monómeros
Nitrato de mercurio	Explosivos
Compuestos de mercurio orgánico	Descargas de agua en fabricación de papel
Metilamina	Curtiembres y síntesis orgánicas
Cloruro de níquel	Galvanoplastia y tinta invisible
Sulfato amoniacal de níquel	Galvanoplastia
Nitrato de níquel	Galvanización
Bisulfato de sodio	Textiles, papel e industrias de fermentación
Cloruro de sodio	Industria cloro-álcali
Fluoruro de sodio	Plaguicidas
Hidróxido de sodio	Celulosa y papel, petroquímicas, aceites minerales y vegetales, cuero, recuperación de caucho, destilación de carbón
Sulfato de sodio	Fabricación de papel
Sulfuro de sodio	Curtiembres, celulosa
Acido sulfúrico	Producción de fertilizantes, otros ácidos, explosivos, cromado de metales, purificación de aceites
Urea	Producción de resinas y plásticos, síntesis orgánicas
Zinc	Galvanoplastia
Cloruro de zinc	Fabricación de papel, tinturas

Fuente: *Manual de tratamiento de aguas residuarias industriales*. P.M. Braille, CETESB, 1979.

**Cuadro 6.10**

**Métodos de tratamiento de aguas de desecho que remueven diferentes contaminantes procedentes de las agroindustria**

Contaminante	Método de tratamiento
Grasa, aceites emulsionados	Separación gravimétrica Coagulación y sedimentación Adsorción en carbón Filtración a través de un medio granular Flotación
Sólidos suspendidos	Sedimentación Coagulación y sedimentación Filtración a través de un medio granular
Orgánicos dispersos	Conversión biológica Adsorción en carbón
Sólidos disueltos (inorgánicos)	Evaporación Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodialisis
Acidez y alcalinidad	Neutralización
Lodos de procesos	Digestión anaeróbica Digestión aeróbica Centrifugación Incineración Laguna de estabilización Alimento para animales Relleno sanitario Fertilizante y acondicionador de suelos Filtración

Fuente: *Pollution problems in the agro-industries.*

**Cuadro 6.11**

**Efectividad de los métodos de tratamiento de aguas de desecho provenientes de agroindustrias**

Sistema de tratamiento	Reducción de
Sedimentación o separación por gravedad	Grasa: 15-20% DBO <sub>5</sub> : 20-30% Sólidos suspendidos: 20-50%
Flotación (aire disuelto)	Grasa: 60% DBO <sub>5</sub> : 30% Sólidos suspendidos: 30%
Lagunas anaeróbicas y aeróbicas	DBO <sub>5</sub> : 95%
Lagunas anaeróbicas, aireadas, aeróbicas	DBO <sub>5</sub> : 99%
Lodos activados	DBO <sub>5</sub> : 90-95%
Filtro de arena	DBO <sub>5</sub> : 5-10 mg/l Sólidos suspendidos: 3-8 mg/l
Electrodialisis	Sólidos totales disueltos: 90%
Intercambio iónico	Sal: 90%
Adsorción en carbón	DBO <sub>5</sub> : 98% (remoción de coloides y orgánicos disueltos)
Precipitación química	Fósforo: 85-95%
Osmosis inversa	Sal: 5 mg/l Sólidos totales disueltos: 20 mg/l
Irrigación en suelos	Total

Fuente: *Pollution problems in the agro-industries.*

do depende de la calidad del vertimiento o efluente que se requiera, de la ubicación de la industria, del grado de reutilización y del reciclaje del agua de desecho (véase cuadro 6.11).

## **DESECHOS DE PLAGUICIDAS**

En los apartados siguientes se presenta un resumen sobre los métodos de disposición de desechos de plaguicidas, líquidos y sólidos.

La disposición de desechos de productos plaguicidas debe efectuarse en una forma segura y adecuada que evite riesgos para la salud de la población y efectos adversos en el ambiente.

Los métodos recomendados y más estudiados son:

- Incineración.
- Métodos biológicos.
- Métodos fisicoquímicos.
- Disposición en tierra.

### **Incineración**

Método adecuado para un amplio rango de ingredientes activos, formulaciones y mezcla de plaguicidas. Sin embargo, no se recomienda para los productos organometálicos (mercurio, cadmio, plomo, arsénico) por la emisión de metales tóxicos, cloruros metálicos, óxidos y partículas que pueden ser de difícil remoción de las emisiones gaseosas.

Los gases que pueden producirse al incinerar plaguicidas son:

- Gas cloro y cloruro de hidrógeno por incineración de plaguicidas organoclorados.
- Cloro, cloruro de hidrógeno y óxido de cloro por incineración de DDT.
- Amonio por incineración de compuestos que contienen nitrógeno.
- Dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno por incineración de plaguicidas organofosforados y tiocarbamatos.

Las condiciones adecuadas de operación en la incineración son: un tiempo de retención de 2 segundos en la zona de combustión a una temperatura

aproximada de 1 000°C, con lo cual lograría una destrucción de 99.9% de los plaguicidas orgánicos. Esta condición de operación depende de la naturaleza del plaguicida, de la mezcla desecho-aire en la combustión, de la temperatura apropiada para asegurar la destrucción completa de compuestos orgánicos, y de la cantidad de oxígeno adecuada en la cámara de combustión. Además, de la velocidad de alimentación al incinerador.

### **Métodos biológicos**

Se emplean para reducir o eliminar cualquier desecho plaguicida biodegradable. Estos desechos deben ser por lo general compuestos orgánicos, para que sirvan como fuente de carbón para los microorganismos. Sin embargo, los compuestos inorgánicos que contienen nutrientes como nitrógeno también pueden ser degradados por procesos biológicos.

Las condiciones necesarias para la biodegradación varían de acuerdo con la naturaleza del método de disposición y con los organismos activos.

La temperatura y el pH no deben ser muy altos. En los sistemas de tratamiento aeróbico debe mantenerse el oxígeno en niveles altos.

En los sistemas anaeróbicos se requiere ausencia de oxígeno y una fuente de carbono; usualmente se adiciona metanol para ayudar al metabolismo. Es esencial la ausencia de metales tóxicos.

Los microorganismos empleados en los procesos de biodegradación generalmente son bacterias saprófitas, hongos y protozoarios, con un complemento de organismos autótrofos.

Los métodos tradicionales de disposición biológica de plaguicidas son:

- Lodos activados.
- Filtro percolador.
- Laguna de oxidación.
- Digestión anaeróbica.
- Incorporación en el suelo.

Se hace necesario efectuar estudios más completos que determinen la cantidad de plaguicidas o de productos de degradación de ellos que se pierden en el ambiente por volatilización, en la superficie de las aguas, o la contaminación de aguas subterráneas, cuando se utilizan los métodos biológicos.

### **Métodos fisicoquímicos**

Estos métodos son aplicables a soluciones diluidas de plaguicidas, ingredientes activos concentrados, formulaciones orgánicas que contienen mercurio, plomo, cadmio, arsénico y plaguicidas inorgánicos.

Incluyen:

- Adsorción sobre carbón activado o resinas.
- Hidrólisis.
- Clorólisis.
- Oxidación con aire húmedo.
- Baños con sales fundidas.
- Ozonización.
- Degradación por proceso reductor.
- Decoloración catalítica.

Los tres primeros métodos pueden tener mayor aplicación para el caso de los plaguicidas.

La adsorción sobre carbón activado y resinas se ha utilizado para remover materiales orgánicos e inorgánicos de desechos diluidos, por ejemplo, soluciones en las cuales la concentración de los compuestos que se van a remover es inferior a 0.1% en peso. Este método no se aplica a efluentes concentrados ni para remover el ingrediente activo de un herbicida (concentrado emulsionable), porque en este caso se requeriría de la adsorción de otros ingredientes como emulsificantes, diluyentes y materiales inorgánicos.

Algunos grupos de plaguicidas pueden ser degradados a formas de menor riesgo por medio de procedimientos químicos simples tales como: calor, presión, hidrólisis alcalina o ácida, hipoclorito.

Los compuestos organofosforados en su mayor parte pueden ser hidrolizados en un medio alcalino. La tasa de hidrólisis depende del pH y de la temperatura de la solución. El efluente neutralizado puede enviarse al sistema de disposición de aguas negras. Las partículas pequeñas de sólidos suspendidos en el efluente neutralizado pueden removerse pasándolo a través de un filtro.

El aldrín, el endrín y el dieldrín son sustancias estables en medio alcalino pero dehidro-clorinados en medio ácido con pH inferior a 3.

El toxafeno y el DDT se descomponen en medio alcalino.

Para los efluentes que contengan estas dos clases de plaguicidas organoclorados se emplearán los dos procedimientos.

Los carbamatos se descomponen por adición de un álcali fuerte.

La adición de una solución de hipoclorito de sodio o de cloro gaseoso a efluentes que contienen herbicidas derivados del ácido clorofenoxiacético en un reactor a temperatura superior a 30°C, pH de 3 y tiempos de retención de, por lo menos, 10 minutos, podría modificar la composición del compuesto y sus propiedades herbicidas.

### **Disposición**

Incluye los siguientes procedimientos:

- Enterramiento en relleno sanitario.
- Encapsulamiento.
- Inyección en pozos.
- Tanques o depósitos de evaporación-filtración.
- Disposición en el suelo.

Los métodos de disposición en la tierra no son útiles para la degradación química, como en el caso de la incineración y de los tratamientos biológicos y fisicoquímicos.

El relleno sanitario es el procedimiento más utilizado para la disposición de plaguicidas.

El encapsulamiento consiste en la colocación del desecho de plaguicidas en un recipiente de concreto, asfalto o polímero sintético, previo al enterramiento o almacenamiento. El desecho así guardado se aísla del ambiente y se preserva para posible recuperación futura.

Respecto a la disposición en pozos, existen dos tipos diferentes:

- 1) Inyección en pozos profundos: se bombea o drena dentro de cavidades en el subsuelo ubicadas distantes de cualquier curso de agua subterránea.
- 2) Inyección en pozos poco profundos y en pozos artificiales recubiertos con paredes permeables o perforados. Se emplean para la disposición de desechos diluidos, especialmente mezclas y lavados de tanques de aplicación. Es importante el aislamiento de suministros de agua y de tierras cultivadas.

Los tanques de filtración y evaporación son adecuados para climas secos y calurosos. La evaporación solar concentra los sólidos tóxicos, los cuales son periódicamente enterrados en rellenos sanitarios. En algunos casos, este sistema permite que una porción del líquido se infiltre en el subsuelo.

La disposición en el suelo incluye: rociado, colocación en surcos y disposición superficial. No obstante, estos métodos no son recomendados.

Los plaguicidas orgánicos, excepto los compuestos orgánicos de mercurio, plomo, cadmio y arsénico, pueden disponerse en rellenos sanitarios en el caso de no contar con incineradores. Igualmente los plaguicidas organometálicos, si no son aplicables los procedimientos de desactivación química.

#### *Tanques de evaporación*

Especialmente útiles en pistas de fumigación aéreas, por tratarse de un método económico, seguro y efectivo.

Pueden emplearse dos tipos de tanques dependiendo del clima del área. En áreas secas y calurosas se recomienda el tanque abierto. En áreas donde la precipitación anual es igual o excede a la evaporación anual, se necesita un tanque con techo transparente para prevenir que la lluvia ingrese pero permita la penetración de la radiación solar.

*Elementos del tanque de evaporación.* El tanque de evaporación consta de los siguientes elementos:

- Plataforma en desagüe lateral o central (figura 6.3)
- Trampa de sedimentación para separar material suspendido (figura 6.4).
- Caja de separación de flujos que impida el ingreso de las aguas de lluvia al tanque de evaporación (figura 6.4).
- Canal de drenaje.

Figura 6.3

Plataforma de lavado y descarga

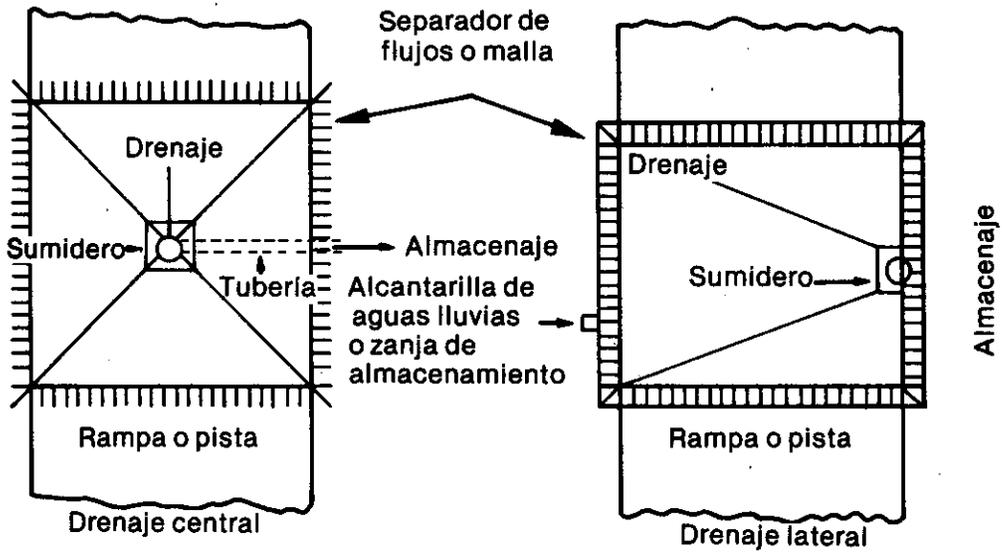
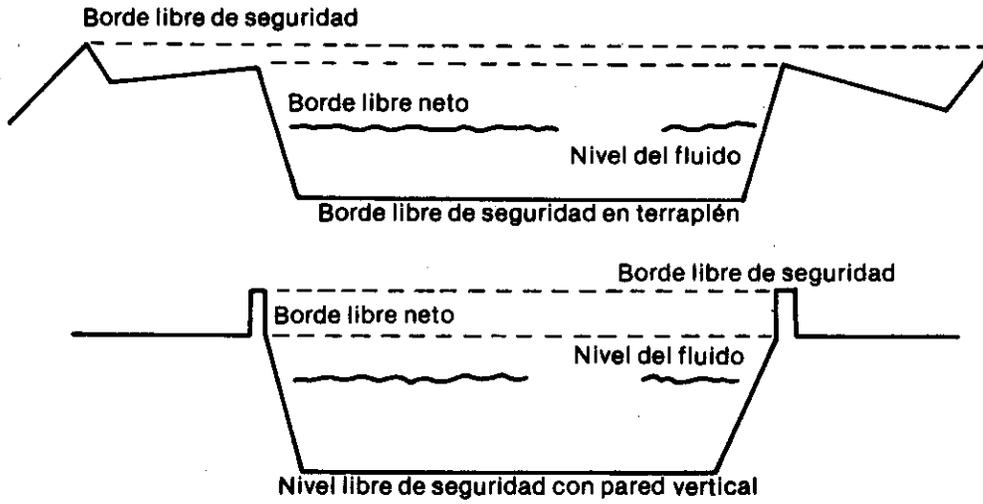


Figura 6.4

Bordes libres de seguridad para el pozo de evaporación



- Tanque de evaporación (figura 6.5).

Se deben ubicar rejillas de tamaño apropiado en:

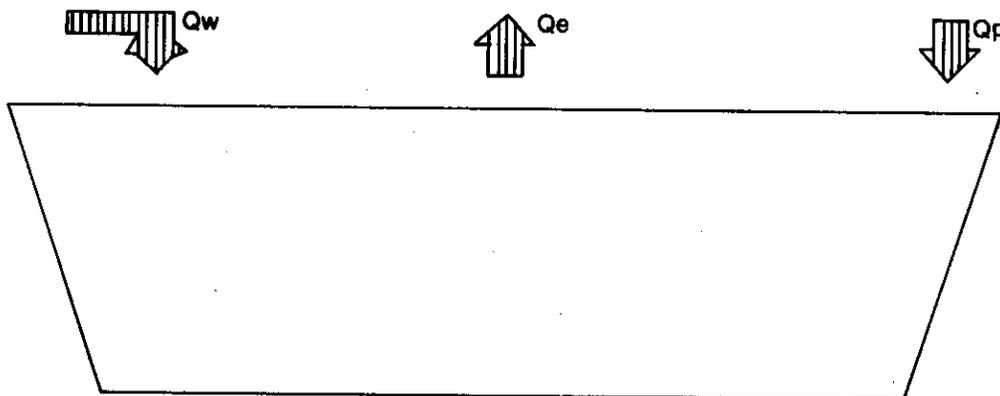
- Desagüe de la plataforma.
- Entrada y salida de la trampa de sedimentación.
- Entrada al tanque de evaporación.

*Ubicación del tanque de evaporación.* La ubicación del sistema y en especial del tanque de evaporación requiere de un estudio de niveles freáticos. La superficie del fondo del tanque de evaporación debe estar por lo menos a 1.5 metros del nivel de agua subterránea.

*Diseño del tanque de evaporación.* Se parte de un balance simple de volúmenes considerando un periodo de un año. No se incluyen las fluctuaciones diarias en el nivel del líquido dentro del tanque, que son las que reflejan los cambios diarios en el almacenaje.

**Figura 6.5**

**Balance de volumen en el pozo de evaporación**



$Q_w$  = Volúmen de desecho de plaguicida que entra al tanque ( $m^3$ )  
 $Q_p$  = Volúmen de precipitación ( $m^3$ )  
 $Q_e$  = Volúmen de desecho evaporado ( $m^3$ )

Tanque abierto:

$$Q_w + Q_p = Q_e$$

donde  $Q_w$  = volumen de desecho colocado en el tanque ( $m^3$ ),  $Q_e$  = volumen de desecho evaporado ( $m^3$ ), y  $Q_p$  = volumen de la precipitación ( $m^3$ ).

Volumen del desecho de plaguicida:

$$Q_w = N_a \times W \times D_a$$

Donde  $N_a$  = número de aviones,  $W$  = volumen diario del desecho descargado de cada avión ( $m^3/día$ ),  $D_a$  = número de días de operación.

Volumen de precipitación adicionado:

$$Q_p = \frac{q_p A_t D}{(100)(365)} = \frac{q_p A_t D}{36\ 500}$$

Donde  $q_p$  = tasa de precipitación promedio anual para la zona ( $cm/año$ ).  $A_t$  = área hasta el tope del tanque ( $m^2$ ), y  $D$  = tiempo total transcurrido en el periodo bajo consideración (días).

Volumen de desecho evaporado:

$$Q_e = \frac{q_e A_{ts} D}{(100)(365)} = \frac{q_e A_{ts} D}{36\ 500}$$

donde  $q_e$  = tasa de evaporación promedio anual para la zona ( $cm/año$ ),  $A_{ts}$  = área promedio de la superficie del fluido en el tanque ( $cm^2$ ), y  $D$  = tiempo total transcurrido en el periodo bajo consideración (días).

Ecuación básica para el diseño del tanque:

$$N_a W D_a + \left( \frac{q_p A_t D}{36\ 500} \right) - \left( \frac{q_e A_{ts} D}{36\ 500} \right) = 0$$

Para tanques de paredes verticales  $A_t = A_{ts}$

$$A_t = \frac{36\ 500 N_a W D_a}{(q_e - q_p) D} \quad (\text{aplicable para } q_e > q_p)$$

$$D = 365 \text{ días}$$

Para tanques de paredes con pendiente,  $A_{ta}$  diferente de  $A_t$ :  $A_t$  debe estar por lo menos 0.6 por encima del nivel máximo de fluido por medidas de seguridad. Si el tanque es cuadrado,  $A_t$  puede calcularse a partir de  $A_{ta}$  por la siguiente ecuación:

$$A_t = (\sqrt{A_{ta}} + 2 H/S)^2$$

Donde  $H$  = altura total del tanque, por encima de  $A_{ta}$  (m) y  $S$  = la pendiente del lado del tanque (elevación/recorrido o tanda). El área de la base del tanque se calcula de:

$$A_b = (\sqrt{A_{ta}} - 2 d/s)^2$$

Donde  $A_b$  = área de la base del tanque ( $m^2$ ) y  $a$  = profundidad total de fluido en el tanque (m). La profundidad del fluido,  $d$ , debe ser mayor de 0.3 m.

Por "tanteo" se pueden obtener diferentes valores de  $A_t$  para diferentes pendientes.

Se calcula el volumen del fluido disponible al final de la época de aplicación ( $D = D_a$ ). En esta época,  $D = 365 D_a$ .

Si esta cantidad de fluido es menor que el volumen disponible al final de la época de aplicación, se debe seleccionar un tanque de mayor tamaño.

El volumen contenido por debajo del nivel máximo de fluido  $A_t$  se determina de:

$$V = (d/3 A_{ta} + A_{ta} A_b + A_b)$$

Donde  $V$  = volumen del tanque ( $m^3$ ) por debajo el nivel del fluido. Este volumen debe ser mayor que o igual al volumen disponible al final de la época de aplicación. Se debe asumir que la base del tanque está a una profundidad razonable por debajo del nivel máximo de fluido ( $d \geq 0.3$  m). Si el volumen por debajo del nivel máximo de fluido es menor que el volumen disponible al final de la época de aplicación, se debe seleccionar una profundidad mayor y recalcular el volumen para determinar la profundidad apropiada del tanque.

**Tanque cubierto.** En áreas donde la precipitación es alta y la evaporación es baja, o cuando los datos retrospectivos de por lo menos 6 años no indican con certeza que las tasas de evaporación son mayores que las de precipitación, no puede funcionar el procedimiento anterior. En estas condiciones el tanque debe estar protegido por una teja de material transparente. Para diseñar el tanque de evaporación con teja se asume que  $q_p = 0$  y se reduce  $q_e$  por un factor  $R$  que

cuantifica la reducción de radiación solar causada por la teja transparente. Si la teja tiene mantenimiento adecuado, la reducción en la evaporación es alrededor de 25%. Si la época de aplicación de plaguicidas coincide con la época de mayores lluvias (invierno) se deben controlar las tasas de lluvia mensual y la tasa de evaporación, para asegurar así un tamaño adecuado del tanque y prevenir el sobreflujo.

Los diseños de tanques abierto y cubierto, asumen que:

- El agua colectada de la lluvia sobre la plataforma y la caja de separación de flujos no va al tanque de evaporación.
- El agua que llega al tanque de evaporación está exclusivamente constituida por:
  - Agua de lavado de recipientes que originalmente contenían los plaguicidas comerciales.
  - Agua de lavado de los utensilios y equipos de aplicación de plaguicidas, incluido el lavado de elementos de protección personal.

*Descontaminación y disposición de recipientes vacíos de plaguicidas.* Los plaguicidas se empaquetan generalmente en tres tipos de recipientes: combustibles, no combustibles (pero lo suficientemente pequeños para ser fácilmente rotos o quebrados) y no combustibles (de difícil rotura). Los recipientes vacíos que han contenido plaguicidas no deben dejarse abandonados bajo ninguna circunstancia, en locales o pistas de aterrizaje, en basureros públicos u otras áreas de fácil acceso y ausentes de vigilancia, porque los residuos remanentes son un riesgo concreto para niños, animales domésticos, ganado, así como para personas adultas al emplear estos recipientes para otros fines.

Tampoco debe permitirse la acumulación de recipientes vacíos. El individuo, o la empresa compradora o aplicadora de plaguicidas son responsables de los recipientes hasta que se disponga de ellos de una manera adecuada y segura.

Es esencial que todo el personal encargado del manejo de recipientes vacíos contaminados tenga suficiente conocimiento de los riesgos potenciales asociados con estas operaciones. Estos riesgos se presentan por: el contacto con el desecho de plaguicidas en recipientes, y el contacto con la solución de lavado de acción corrosiva.

El personal ocupado en el proceso de descontaminación debe utilizar ropa de protección seleccionada de acuerdo con el material empacado en el recipiente, overol, zapatos, guantes de caucho, respirador; además es necesario usar gafas de seguridad y caretas para protección de los ojos y de la cara contra salpicaduras.

**Procedimiento para lavado de recipientes.** Cuando un recipiente metálico, de vidrio o plástico está vacío, debe lavarse varias veces con diluyente, generalmente agua y jabón. El lavado no debe efectuarse en ríos, quebradas, arroyos y otras fuentes de agua. Aunque éste no es un procedimiento que asegure una destoxificación o remoción completa de todo el plaguicida, ofrece mayor seguridad que si no se efectuara el lavado. El procedimiento recomendado para el lavado de recipientes es el siguiente:

- Lavar cuidadosa y completamente con agua la parte exterior del recipiente.
- Añadir con cuidado el agua y el detergente dentro del recipiente. Cerrar herméticamente el envase. Hacerlo girar varias veces sobre sus costados para que se humedezca completamente la superficie interior y se emulsifiquen los desechos del plaguicida.
- Dejar la mezcla de agua y detergente dentro del recipiente durante 15 minutos más o menos, agitándose periódicamente. Durante este tiempo invertir y rotar el recipiente varias veces.
- Destapar el recipiente y añadir cuidadosamente la sosa cáustica. Cerrar nuevamente y repetir el proceso de agitación durante otros 15 minutos.
- Abrir el recipiente y verter toda la solución del lavado en un sitio especial y única para este fin (Tanque de evaporación)
- Nuevamente lavar completamente el exterior en interior del envase con agua y detergente, durante 15 minutos.
- Finalmente enjuagar el recipiente varias veces con agua limpia.
- Descartar con cuidado todas las soluciones utilizadas para el lavado, enterrándolas en un sitio ubicado en un área aislada, con mínima oportunidad de tránsito de personas y animales y escasa probabilidad de existencia de aguas subterráneas. El sitio de enterramiento debe estar localizado a 0.5 metros de profundidad, y una distancia mínima de 150 metros de zonas de alimentación de ganado, pozos, corrientes y suministro de agua.

No debe utilizarse sosa cáustica para descontaminación de recipientes que hubieran contenido aldrín, dieldrín o endrín.

**Métodos de disposición de recipientes.** Recipientes combustibles, Se definen como recipientes combustibles, los que puedan destruirse completamente por quema o incineración. En esta categoría se incluyen bolsas de yute, bolsas de tela o plástico y cajas de cartón o madera. Los recipientes que han contenido plaguicidas orgánicos y organometálicos, excepto compues-

tos de mercurio orgánico, plomo, cadmio, o arsénico, pueden disponerse de acuerdo con los procedimientos que a continuación se anuncian en orden de preferencia.

- Quema de los recipientes vacíos en un incinerador, preferiblemente utilizado para plaguicidas, y una vez que han quedado vacíos. El personal que lleva a cabo este procedimiento debe mantenerse alejado de gases y humos.
- Quema de los recipientes en un botadero vigilado de propiedad privada o pública. Es necesario informar al supervisor o administrador y demás personal sobre la naturaleza y los riesgos de los recipientes para que se tomen las debidas precauciones.
- Enterramiento en un relleno sanitario especialmente diseñado para este fin por la autoridad sanitario cuando no es posible incinerarlos. El enterramiento debe efectuarse a una profundidad mínima de 0.5 metros, en una zona aislada y lejos de suministros de agua.

**Recipientes no combustibles.** En este grupo están incluidos los recipientes no combustibles de tamaño pequeño hasta de 0.0189 m<sup>3</sup> ó 5 galones y contruidos en vidrio, plástico o metal, y los recipientes metálicos de 0.056, 0.113 y 0.208 m<sup>3</sup> (15,30 y 55 galones), que contenían plaguicidas orgánicos u organometálicos, excepto organomercuriales, plomo, cadmio y arsénico.

Los recipientes vacíos de tamaño pequeño no deben ser reutilizados para ningún propósito. Sin embargo, se admite que el recipiente de 0.0189 m<sup>3</sup> puede tener un cierto valor económico como envase para sólidos no alimenticios, y en este caso debe seguirse el procedimiento de descontaminación señalado con anterioridad. El recipiente adecuadamente lavado y sin desechos de plaguicidas no puede utilizarse para transporte o almacenamiento de agua, alimentos sólidos o líquidos, ni para cualquier otro producto alimenticio. En ningún caso debe permitirse el contacto del recipiente con materiales alimenticios.

Después de su descontaminación, los envases de vidrio se rompen, los de plástico y metal se perforan y aplastan. Una vez destruidos pueden enterrarse en una zona de relleno sanitario, o en un sitio aislado lejos de suministros de agua y a una profundidad mínima de 0.05 metros. En el caso de los recipientes metálicos en buen estado de 0.056, 0.113 y 0.208 m<sup>3</sup> se lavan siguiendo el procedimiento anotado, para luego ser devueltos al formulador o fabricante de plaguicidas y ser reutilizados para el mismo tipo de producto, o para el transporte de productos no alimenticios, tales como cal y azufre, que tienden a re-

accionar degradando que hubiere quedado. Si no son reutilizados, es necesario perforarlos y aplastarlos, para luego enterrarlos en un relleno sanitario o transportarlos a una instalación para ser empleados como chatarra metálica.

En general todo recipiente lavado puede triturarse y disponerse en un relleno sanitario o quemarlo. Los no lavados, previamente inutilizados, deberán disponerse en un relleno sanitario o incinerarse.

Recipientes combustibles y no combustibles. Este tipo de recipientes que contenían plaguicidas inorgánicos, o compuestos organomercuriales, plomo cadmio o arsénico, se lavan y se perforan, disponiéndolos en un relleno sanitario.

### **Procedimiento para manejo de recipientes rotos, descontaminación y limpieza de áreas contaminadas con plaguicidas**

#### **Prevención en el manejo y almacenamiento de plaguicidas**

Se requiere:

- Tener un conocimiento amplio sobre la clase de productos plaguicidas que se maneja y almacena. Conocer su grado de toxicidad y toda indicación sobre su manejo y precauciones.
- Mantener un inventario completo y actualizado con indicación del número e identidad de los recipientes existentes en cada unidad de almacenamiento.
- No almacenar formulaciones de plaguicidas contenidas en recipientes en mal estado y sin la debida etiqueta.
- Cada formulación de plaguicidas debe almacenarse en forma separada y en un sitio identificado por un aviso que indique el nombre de la formulación.
- Almacenar los recipientes rígidos en posición vertical, y colocarlos sobre el piso (encima de estibas) en forma ordenada para fácil acceso e inspección.
- Almacenar los plaguicidas en filas o unidades para que todas las etiquetas estén visibles, y con espacios que permitan el libre acceso.
- Los excedentes de plaguicidas y recipientes vacíos deben almacenarse por separado y preferiblemente de acuerdo con el método de disposición, para asegurar que los plaguicidas de la misma clase se dispongan ade-

cuadramente, y que no ocurran mezclas accidentales de recipientes de diferentes categorías durante la operación de remoción.

- Inspeccionar periódicamente y en forma ordenada todos los recipientes que contengan plaguicidas, observando posibles escapes o corrosiones.
- Inspeccionar todos los recipientes que contienen plaguicidas antes de cualquier manipulación.
- No manipular bruscamente los recipientes porque se pueden presentar situaciones de emergencia por derrames de los productos plaguicidas que contienen.
- Mantener una cuadrilla de operarios debidamente adiestrada sobre aspectos de seguridad con plaguicidas y especialmente en la limpieza de áreas contaminadas y disposición de materiales tóxicos. Este personal debe estar dotado de equipo de protección personal.
- Las personas que manipulan en forma regular compuestos organofosforados y carbonatos deben someterse a exámenes médicos periódicos que incluyan determinación de la actividad de la colinesterasa.
- No almacenar alimentos, bebidas, cigarrillos y utensilios de comidas, en áreas de almacenamiento, carga y descarga de plaguicidas.
- Lavarse las manos y partes contaminadas antes de comer, beber o fumar, e inmediatamente después de la carga o el transbordo de plaguicidas.

Cuando se producen rupturas de recipientes, escapes y derrames de compuestos plaguicidas, se deben seguir los siguientes procedimientos:

- Aislar el área afectada inmediatamente, alejando a todas las personas del sitio contaminado. No permitir la entrada o la proximidad de personas no autorizadas, con excepción de la cuadrilla de operarios encargada de realizar el proceso de descontaminación.
- Suministrar equipo de protección individual a toda persona que intervenga en las actividades de manipulación de recipientes averiados y de descontaminación de áreas.
- Seleccionar el equipo de protección personal de acuerdo con la sustancia plaguicida debe incluir: respirador, guantes de caucho, botas de caucho y overol.

- Observar cuidadosamente todas las indicaciones de la etiqueta del envase.
- Evitar la inhalación y el contacto del plaguicida con la piel.
- No comer, beber o fumar mientras se manipulen recipientes rotos y se descontamine y limpie el área.
- No llevar los dedos a la boca y no restregar los ojos mientras se trabaja.
- Una vez terminada la operación, el operador deberá quitarse inmediatamente la ropa contaminada y bañarse con suficiente agua y jabón, lavando en especial las áreas de la piel posiblemente contaminadas.
- Toda persona que haya estado expuesta a inhalación y contacto directo con plaguicidas debe mantenerse bajo observación médica para administrar un pronto y rápido tratamiento médico si se presentan síntomas indicativos de intoxicación.
- Limpiar el área contaminada por plaguicidas lo más pronto que se pueda. Es prácticamente imposible efectuar una descontaminación adecuada y completa si se permite que el derrame de plaguicidas permanezca sobre el piso durante un periodo largo.
- Remoción de bolsas pequeñas rotas. Sacar las bolsas no dañadas de la caja de cartón y limpiarlas con un trapo humedecido (el cual deberá quemarse posteriormente) con una solución de hidróxido de sodio. Después transferir las bolsas limpias y buenas a una nueva caja de cartón debidamente etiquetada. La caja de cartón original con las bolsas rotas se colocará dentro de un recipiente de plástico, metal o cartón que pueda sellarse, al que se le colocará una etiqueta que indique el nombre del producto plaguicida que contiene y su toxicidad.

**Remoción de tambores de fibra dañados.** Los tambores dañados deben llevarse a un sitio donde se disponga de una campana aspiradora, o ser retirados a un sitio al aire libre. En caso de tambores averiados de gran tamaño, transferir lentamente el plaguicida en forma de polvo a un tambor nuevo y etiquetado con indicación del nombre del producto y su toxicidad, evitándose en lo posible la liberación del polvo. Si se trata de tambores pequeños, colocarlos dentro de recipientes de mayor tamaño que puedan cerrarse herméticamente y que estén debidamente rotulados.

El tambor original vacío debe lavarse y destruirse completamente. Puede incinerarse o quemarse a campo abierto, pero debe evitarse la inhalación de hu-

mo o enterrase si no se dispone o no es recomendable la incineración (los residuos de la quema deben enterrarse).

El enterramiento debe efectuarse en suelos arcillosos, a una profundidad mínima de 0.5 metros, y a una distancia de por lo menos 150 metros de áreas de alimentación de ganados, pozos, corrientes y suministros de agua. El sitio de enterramiento debe ubicarse en un área aislada con un tránsito mínimo de personas y animales y donde la existencia de aguas subterráneas sea poco probable.

**Recipientes metálicos.** Alterar la posición del recipiente colocando el flujo de escape o parte dañada hacia arriba. Evitar el contacto de plaguicidas con la piel. Transferir el contenido por medio de una bomba manual, a un nuevo tambor debidamente identificado.

Antes de disponer del recipiente vacío deberá lavarse varias veces con agua, detergente y sosa cáustica.

Después de lavado el recipiente debe perforarse, aplastarse y destruirse completamente, enterrados los fragmentos en suelo arcilloso, aislado, lejos de suministros y a una profundidad de 0.5 metros aproximadamente.

Cuando un plaguicida se ha derramado sobre el piso no lavar con agua para quitar el plaguicida, porque la acción de echar agua a menudo extiende la contaminación sobre una área mayor y produce escape de material a través del piso.

**Polvo derramado.** Cubrir el polvo derramado con el doble de su volumen de cal apagada, arcilla o aserrín húmedos, no mojados. Con una escoba barrer cuidadosamente el plaguicida y el material absorbente, colocándolos en un recipiente desechable. Quemar la escoba y el recipiente con su contenido en un incinerador, evitando la inhalación de humos y gases. Si es posible, enterrarlos a una profundidad de 0.5 metros en suelo arcilloso, en una área aislada y lejos de suministros de agua.

**Líquidos derramados.** Cubrir el líquido derramado con una sustancia absorbente inerte como cal apagada, aserrín, arcilla o tierra de batán. Después de que el líquido ha sido absorbido, con una escoba barrer cuidadosamente y depositar este material en un recipiente desechable. Quemar la escoba y el recipiente con su contenido, o enterrarlos a una profundidad de 0.5 metros en una área aislada y lejos de abastecimiento de agua.

**Limpieza del área contaminada.** Una vez recogidos los compuestos de sólidos y líquidos por medio de un material absorbente, descontaminar el área afectada utilizando una sustancia química capaz de degradar el plaguicida.

Pueden emplearse sustancias como, bicarbonato de sodio, hipoclorito de sodio, lejía (hidróxido de sodio), cal apagada y detergente.

El área afectada puede descontaminarse en dos formas:

- a) Rociar el área con cal o hidróxido de sodio, humedecer ligeramente con una manguera, aislar el área dejándola así toda la noche. En la mañana siguiente observar el área rápidamente y desde lejos. Si se presenta coloración, repetir el procedimiento hasta que desaparezca todo color. Absorber el líquido con arcilla u otro material similar, y con una escoba colocarlo dentro de un recipiente. Quemar la escoba, el recipiente con su contenido, o enterrarlo a una profundidad de 0.5 metros en un sitio aislado y lejos de suministros de agua.
- b) Cubrir la superficie contaminada con un blanqueador doméstico sin diluir, restregar con un cepillo de mango largo por lo menos durante 25 minutos. Retirar el líquido con arcilla u otro material absorbente, y con una escoba o con el cepillo colocarlo en un recipiente. Quemar los elementos utilizados en la limpieza y los desechos contaminados, o enterrarlos en un sitio aislado y lejos de suministros de agua.

**Disposición de materiales de desecho.** Los desechos resultantes de operaciones de limpieza de áreas contaminadas con plaguicidas se dispondrán de acuerdo con el tipo de material.

Los desechos de plaguicidas orgánicos que no contienen mercurio, plomo, cadmio o arsénico pueden disponerse por a) incineración a temperatura que aseguren completa destrucción, b) enterramiento preferiblemente en sitios de relleno de tierra, designados por las autoridades sanitarias. Se recomienda antes del enterramiento el encapsulado de desechos que contienen mercurio, plomo, cadmio, arsénico, y compuestos plaguicidas inorgánicos.

La disposición de desechos en pequeñas cantidades puede efectuarse por quema al aire libre o por enterramiento en un sitio ubicado en suelo arcilloso y árido, aislado y lejos de fuentes de agua superficiales y subterráneas. Hacer un hoyo con una profundidad de 0.5 metros y proceder a tapar el hoyo con tierra.

Establecer comunicación con la autoridad sanitaria más cercana cuando ocurra un caso de contaminación y solicitar asesoría más cercana de toxicidad, seguridad y sistemas de descontaminación y disposición de los plaguicidas específicos comprometidos.