

# AGUAS RESIDUALES. COMPOSICIÓN

M. ESPIGARES GARCÍA y J. A. PÉREZ LÓPEZ

## GENERALIDADES

Desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse tanto de las excretas como de los restos de alimentación. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial.

Las masas receptoras, es decir, ríos y corrientes subterráneas, lagos, estuarios y el mar, en la mayoría de las ocasiones, especialmente en las zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, para absorber y neutralizar la carga polucional que tales residuos imponen. De esta forma, han venido perdiendo sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responde al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar nuestras masas hídricas. Como consecuencia de esto, en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o aún como fuentes de energía.

Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves.

Es evidente que la polución está disminuyendo la calidad del agua en muchas partes del mundo. Con este progresivo deterioro, el uso de técnicas y modelos para predecir la conducta de los organismos indicadores de la calidad del agua, ha llegado a ser cada vez más importante.

En la mayoría de las naciones, los programas de control de la contaminación, se han iniciado restringiendo las descargas, estableciendo limitaciones para determinados compuestos químicos y parámetros, y se han identificado algunos productos químicos tóxicos en las aguas residuales, para los que se han fijado límites de vertido.

A pesar del éxito conseguido en el control de la contaminación del agua en los países más industrializados, muchos efluentes continúan deteriorando los sistemas acuáticos e interfiriendo en los usos potenciales del agua. Los vertidos de aguas residuales pueden contener desde algunos centenares a varios miles de productos diferentes, muchos de ellos subproductos que ni siquiera han podido ser identificados.

Es por esto que las aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado según su composición, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, hasta evitar que se provoquen los problemas enunciados de polución y de contaminación de las aguas receptoras.

La eliminación de las aguas residuales no es el único problema a considerar, ya que, al ser el agua un bien escaso, que cada día se necesita en mayores cantidades, es cada vez más imprescindible la reutilización de los recursos hídricos disponibles para poder satisfacer las necesidades humanas.

## CONCEPTO

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- *Aguas residuales domésticas o aguas negras:* proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

- *Aguas blancas:* pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden ser evacuadas por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- *Aguas residuales industriales:* proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

- *Aguas residuales agrícolas:* procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

## IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y SANITARIA

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo.

Se puede definir la polución del agua como *una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.*

Según esta definición, la polución sería una consecuencia ineludible del desarrollo y la civilización. Esto es explicable, ya que conforme aumenta el desarrollo de las poblaciones, se incrementa a su vez la diversidad de los agentes contaminantes procedentes de actividades agrícolas, industriales y urbanas, que el hombre no se preocupa de destruir o reciclar, o no lo hace en la magnitud suficiente. De esta forma, se acaba saturando el poder autodepurador del medio natural.

Algunas de estas sustancias tienen un comportamiento desconocido en los organismos vivos. En otros casos, es evidente que la contaminación ambiental por diversas sustancias, que quizás no estén en alta concentración en el medio, pero a las que el hombre está expuesto durante largos períodos de tiempo, es importante en varias enfermedades crónicas, incluido el cáncer.

A continuación se relacionan los principales inconvenientes de las aguas residuales.

### **Malos olores y sabores**

Son consecuencia de la diversidad de sustancias que portan, y sobre todo, de los productos de la descomposición de éstas, especialmente en aquellos procesos, sobre todo anaerobios, en los que se descompone materia orgánica, con desprendimiento de gases. A esto hay que añadir las causas naturales de olores y sabores: la proliferación de microorganismos, los procesos de descomposición, la presencia de vegetación acuática, mohos, hongos, etc., y la reducción de sulfatos a sulfuros, en condiciones anóxicas.

### **Acción tóxica**

Es el efecto y la repercusión que tienen algunos residuos sobre la flora y fauna natural de las masas hídricas receptoras y sobre los consumidores que utilicen esas aguas, o que se vean afectados por la acumulación de estas sustancias tóxicas en la cadena alimentaria. A este respecto, es importante tener en cuenta que en numerosas ocasiones las aguas residuales se utilizan, sin un tratamiento previo, para el riego de cosechas de verduras y hortalizas, con el enorme riesgo que esto supone, ya que el hombre puede consumirlas crudas, pasando a él directamente la contaminación por tóxicos o microorganismos.

En otras ocasiones, no son directamente los residuos los que provocan la desaparición de los organismos del agua, sino que para la descomposición de las sustancias contaminantes son necesarias grandes cantidades de oxígeno, llegando a agotarse y creando condiciones anóxicas que impiden la vida acuática.

Por estas razones, se están realizando diversos estudios sobre la toxicidad de algunos compuestos sobre organismos y microorganismos acuáticos, y sobre los niveles de resistencia y adaptación de éstos a algunas sustancias y elementos presentes en el agua.

Estos organismos se pueden utilizar como *bioindicadores* de la calidad de las aguas, ya que su presencia o ausencia nos indica el nivel de contaminación, siempre teniendo en cuenta el medio de referencia, ya que la presencia de un mismo organismo en distintos medios puede indicar distintos grados de polución, según el medio del que se trate, y la simple comparación puede llevar a una subestimación del grado de contaminación.

Los *efectos tóxicos* pueden ser:

-*Letales*: causan muerte por envenenamiento directo.

-*Subletales*: por debajo de los niveles que causan la muerte, pero que pueden afectar al crecimiento, reproducción o actividad de los organismos.

-*Agudos*: causan un efecto (normalmente la muerte) en un corto período de tiempo.

-*Crónicos*: causan un efecto letal o subletal durante un período de tiempo prolongado.

-*Acumulativos*: se incrementa el efecto con dosis sucesivas.

Los compuestos con acción tóxica tienen características y orígenes diversos:

***Compuestos orgánicos de efluentes domésticos e industriales***: representan el problema más antiguo de contaminación del agua. En un principio, se priorizaban los efectos de los residuos domésticos sobre los industriales, debido al potencial de efectos agudos sobre la salud que poseían los residuos humanos, comparados con la creencia de que los residuos industriales producían sólo efectos indirectos. Pero conforme fueron apareciendo nuevos compuestos químicos procedentes de las industrias, se empezó a prestar una mayor atención a los efectos de los residuos industriales sobre la salud y su impacto en el medio ambiente.

Hay una gran diversidad de compuestos orgánicos presentes en el ambiente acuático causando la polución de éste, y existen numerosas técnicas para detectarlos.

Podemos citar los hidrocarburos, y dentro de éstos, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, algunos de los cuales son cancerígenos. También son muy importantes los fenoles que provocan problemas de olor y sabor acentuados cuando éstos reaccionan con el cloro en los procesos de cloración del agua.

Otras sustancias a tener en cuenta son los compuestos organometálicos, ya que su presencia en el medio ambiente, incluso a pequeñas concentraciones, puede afectar a la cadena alimentaria, alcanzando concentraciones mucho mayores en los organismos. Los de mayor interés son los derivados del plomo, cadmio, estaño y mercurio.

Hay que hacer también mención especial de las industrias estacionales (azucareras, almazaras, etc.) que provocan contaminaciones agudas en determinadas épocas del año.

En los últimos años, se está tomando un interés creciente por los agentes tensoactivos, cuyas espumas engloban multitud de microorganismos, inhiben la oxidación química y biológica y dificultan los procesos de tratamiento.

***Compuestos inorgánicos y minerales***: proceden de industrias mineras y de productos químicos inorgánicos. Entre ellos podemos citar amonio, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfitos y nitritos.

También están los metales pesados, que se acumulan en la cadena alimentaria, a través de la captación por el fitoplancton, peces y organismos filtradores, y pueden afectar al hombre.

De todos los residuos industriales, el drenaje ácido de las minas alcanza el récord, en cuanto a perjuicios para las fuentes de agua, puesto que aumenta los costos de tratamiento y distribución y origina corrosiones.

***Compuestos procedentes de efluentes agrícolas:*** los residuos agrícolas contienen altos niveles de nitratos, fosfatos, amonio y sulfuros, y el drenaje de los silos puede ser tóxico, debido a sus bajos niveles de pH. Pero los compuestos más tóxicos de estos efluentes son los fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas.

***Compuestos que se forman durante el tratamiento del agua, asociados al proceso de cloración:*** los trihalometanos, de los cuales uno de los más peligrosos es el cloroformo, por su posible carácter carcinogénico. La formación de trihalometanos se ve acentuada cuando el agua tiene gran contenido en materia orgánica, como consecuencia de los crecimientos explosivos de algas en los meses estivales.

### **El agua como vehículo de infección**

El agua que está contaminada por aguas residuales o por excretas del hombre o animales, puede intervenir, directa o indirectamente, en la propagación de enfermedades, favoreciendo el desarrollo de artrópodos o moluscos, que son eslabones en sus cadenas epidemiológicas, o difundiendo agentes infecciosos procedentes de excretas de enfermos y portadores, que a través de ella pueden llegar al agua de bebida, o a las hortalizas, que son regadas con estas aguas, sin tratamiento previo.

El vertido al mar de estas aguas contribuye al envenenamiento de peces y mariscos en los estuarios y plataformas costeras y de los criaderos de ostras y áreas dedicadas a la pesca.

### **Acción sobre el entorno**

Además de los problemas ecológicos y sanitarios antes citados, el vertido de aguas residuales en los ríos, lagos y mares produce otro tipo de contaminación llamada psicosocial, ya que afecta al entorno natural del hombre, modificando la estética de su paisaje y haciéndolo cada vez más inhóspito.

En aquellos lugares en que se vierten sustancias coloreadas al agua, procedentes de algunas industrias, se puede cambiar el color de ésta, y afectar a la penetración de la luz.

En las zonas turísticas, este aspecto adquiere mayor relevancia, puesto que, su medio de vida es la afluencia y visita de personas, y han de atender, prioritariamente, los criterios estéticos y sanitarios.

## **Polución térmica**

El vertido de aguas procedentes de los procesos de refrigeración industrial aumenta la temperatura de las aguas y puede afectar a los organismos acuáticos, que suelen desarrollarse dentro de un margen de temperatura bien definido. De esta manera se eliminan las especies más exigentes (estenotérmicos), y se da paso a especies euritérmicas adaptadas a un amplio rango de temperaturas.

## **Eutrofización**

Es un proceso que se puede dar de forma natural, pero que puede estar también provocado por la acción del hombre, mediante vertidos ricos en fósforo y nitrógeno. Estos compuestos se encuentran, principalmente, en las excretas y los detergentes, aunque también puede haber contribución de la escorrentía agrícola.

Estos compuestos estimulan el crecimiento desmedido de microflora que puede causar problemas al alterar los caracteres organolépticos y dificultar los tratamientos, restringiendo, así, la utilización de estas aguas.

## **Contaminación de las aguas subterráneas**

Es un problema de gran envergadura, ya que es muy difícil de detectar y casi imposible de eliminar, puesto que si se detecta la contaminación ha alcanzado grandes dimensiones y ya es demasiado tarde para actuar.

Se produce por infiltración de los residuos líquidos o sólidos resultantes de la actividad humana, que portan sustancias y microorganismos en aquellos terrenos que son permeables.

También se puede producir por sobreexplotación de acuíferos, cuando se encuentran próximos al mar, dando como resultado la salinización de éstos.

## **RECOGIDA DE AGUAS RESIDUALES**

Aunque se conocen ya primitivas alcantarillas en el Imperio romano, el proyecto y construcción de redes de saneamiento no experimentó desarrollo alguno hasta la década 1840-1850.

La preocupación por el problema de evacuación y eliminación de los residuos procedentes de la actividad humana, llevó a las autoridades competentes a la construcción de redes de alcantarillado que alejaban las aguas residuales del núcleo de la población. Se dejaron de utilizar los pozos negros, que solían contaminar los pozos de obtención de agua potable, y se canalizaron los residuos de forma que fueran a parar a uno o unos pocos puntos. Pero el problema continuaba, ya que las alcantarillas debían seguir las líneas de pendiente, y el punto de vertido final solía estar a un nivel más bajo que la ciudad, coincidiendo en la mayoría de los casos con un cauce de agua.

En las ciudades desarrolladas, las redes de alcantarillado conducen las aguas residuales hasta las estaciones de tratamiento. Estos sistemas de recogida pueden ser de dos tipos:

a) *Separativo*: comprende dos canalizaciones distintas, una la sanitaria, para la evacuación de aguas residuales domésticas e industriales, y otra que recoge las aguas superficiales y atmosféricas y que suele descargar directamente en los cursos de aguas naturales.

b) *Unitario*: se recogen en una misma canalización los dos tipos de aguas residuales señalados. En este sistema se producen cambios significativos de flujo durante las tormentas.

Cada uno de los sistemas tiene ventajas e inconvenientes. El sistema unitario es más económico, ya que sólo habría que construir una conducción por cada calle. Pero tiene inconvenientes, ya que el volumen de agua es mayor. Además, han de construirse redes capaces de soportar las variaciones de flujo debidas a las precipitaciones atmosféricas.

La planificación y proyecto de una red de saneamiento supone la determinación del caudal de aguas residuales, el cálculo hidráulico de alcantarillas, grandes conducciones y estructuras de enlace y derivación, selección adecuada de instalaciones complementarias y proyecto de estaciones de bombeo.

Los avances más importantes a este respecto, han sido la aplicación de técnicas fotogramétricas y de ordenadores al proyecto de alcantarillas, la mejora de los materiales de construcción y la utilización de informática al control de alcantarillas para aguas pluviales.

## **CANTIDAD**

La cantidad de aguas residuales que produce una comunidad va en proporción al consumo de agua potable y al grado de desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas.

Los factores que van a influir en la cantidad son:

- Pluviometría: cuando se utiliza el sistema unitario.
- Consumo de agua potable.
- Ingestión de agua.
- Heces y orina.
- Pérdidas: pueden producirse por fuga en las conducciones, o porque parte del agua potable consumida no llega a las alcantarillas (reciclaje en la industria, riego de jardines, etc.).

- Ganancias: consumo y vertido de otros líquidos distintos del agua potable.

En la práctica, del 60 % al 80 % de agua potable consumida se transforma en residual, y si a esto añadimos el agua procedente de las precipitaciones atmosféricas, se pueden alcanzar cifras superiores a las de consumo.

El volumen de aguas residuales va a sufrir una serie de variaciones respecto al tiempo. Está claro que en el sistema unitario, la pluviometría va a jugar un papel importante en estas variaciones. Pero, también el flujo de aguas domésticas e industriales sufre oscilaciones de diversos tipos:

-*Anuales y mensuales*: en los meses de verano, es mayor el consumo de agua por ingestión, aseo, usos recreativos y municipales, etc. Así mismo, las afluencias turísticas originan grandes variaciones en la producción de agua potable. También, hay industrias estacionales que sólo consumen agua durante una parte del año.

-*Semanales*: hay algunos días en la semana en los que se consume mayor cantidad de agua (aseo, coladas, etc.). En los tipos de industrias que no funcionan durante el fin de semana, los cambios en la cantidad de aguas residuales son apreciables.

- -*Diarias*: es mayor el vertido de agua residual, tanto doméstica como industrial, durante el día que durante la noche, produciéndose durante ésta los caudales mínimos.

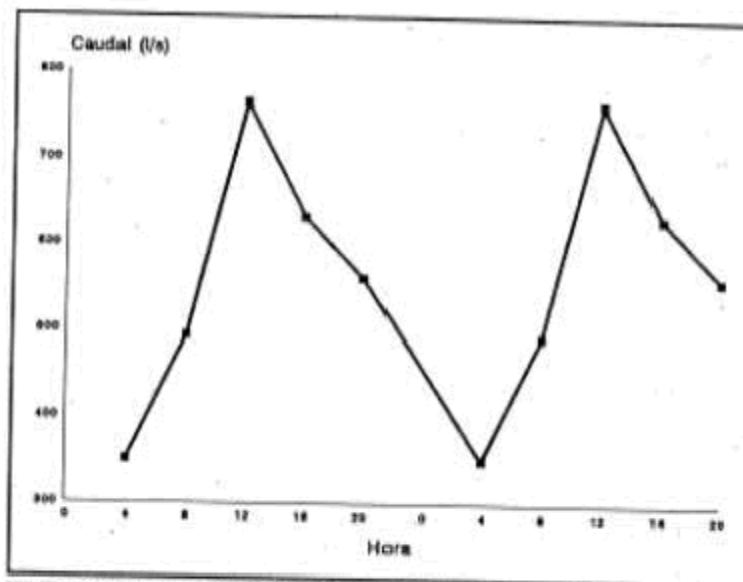


FIGURA 17.1. Evolución del caudal de aguas residuales para las distintas horas del día, correspondiente a dos importantes colectores de la ciudad de Granada (EMASAGRA, 1991).



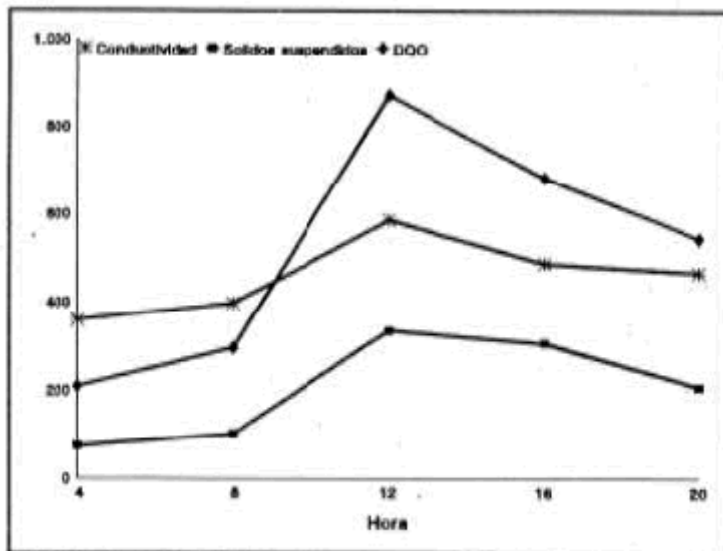


FIGURA 17.2. Evolución de la composición de aguas residuales en las distintas horas del día (EMASAGRA, Granada, 1991).

## AGUAS RESIDUALES URBANAS

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible. Aún así, aunque derive sólo de efluentes domésticos, la composición varía influenciada por algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etc.

La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales.

Tres grupos de caracteres se pueden tener en cuenta para los diferentes componentes del agua:

- Físicos
- Químicos
- Biológicos

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Algunas de las características físicas de las aguas residuales urbanas son las siguientes:

### Temperatura

Suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15

°C, aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura.

### Turbidez

Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria.

### Color

Suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro.

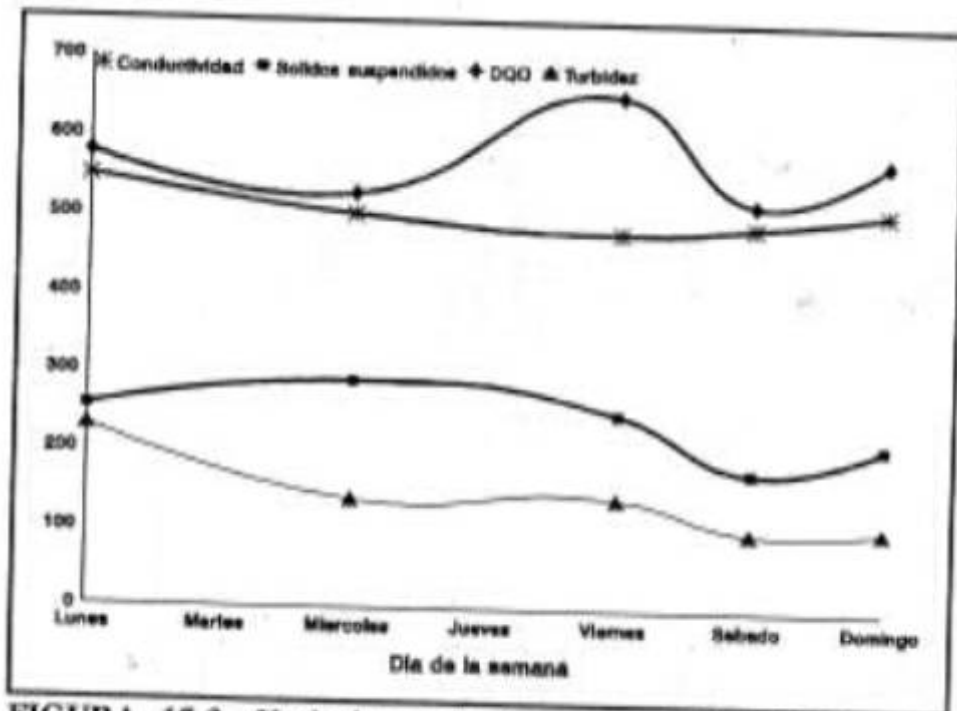


FIGURA 17.3. Variaciones de la composición de las aguas residuales en los distintos días de la semana (EMASAGRA, Granada, 1991).

## Sólidos

Se pueden clasificar en:

- *Totales*: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C durante 60 mm.
- *Fijos*: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización á 600 °C, durante minutos.
- *Volátiles*: es la diferencia entre sólidos totales y fijos.

Según

-

-

media

-

proce:

-

suspe:

especi

**Olor**

Deper

toleral

juego

Estos,

desag:

desag:

Parámetro	Media	Mínimo	Máximo
Caudal (L/s)	174.57	67.40	287.80
Temperatura (°C)	15.02	14.50	15.50
pH	8.44	8.05	8.77
Conductividad (µS/cm)	532.94	265.00	788.00
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	582.60	120.00	1180.00
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	300.37	45.00	490.00
Sólidos sedimentables (mL/L)	6.98	0	21.00
Sólidos suspendidos (mg/L)	223.14	16.00	494.00
Alcalinidad			
Hidróxidos (mg/L)	0	0	0
Carbonatos (mg/L)	8.61	0	30.00
Bicarbonatos (mg/L)	290.68	225.70	396.50
Turbidez (NTU)	146.68	24.00	357.65
Cloruros (mg/L)	49.70	20.50	100.00
Sulfatos (mg/L)	99.11	20.00	202.67
Nitratos (mg/L)	3.27	0.15	5.71
Nitritos (mg/L)	0.31	0.07	0.58
Fosfatos (mg/L)	19.92	7.97	31.87
Amonio (mg/L)	65.39	20.00	111.25
Dureza (mg CO <sub>3</sub> Ca/L)	146.11	90.90	195.36
Calcio (mg/L)	36.74	25.63	46.28
Magnesio (mg/L)	12.41	4.42	19.39

por

olor es  
:an en  
furos.  
n olor  
e olor

**TABLA 17.1. Composición de aguas residuales (EMASAGRA, Granada, 1991).**

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Existen una serie de parámetros que tienen una especial importancia para describir composición de las aguas residuales.

### **Materia orgánica**

Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar:

- Proteínas (40-60 %)
- Carbohidratos (25-50 %)
- Grasas y aceites (10 %)

En las aguas residuales urbanas, la urea y el amoníaco constituyen las principales fuentes de nitrógeno, junto con las proteínas. La materia orgánica también puede aportar azufre, hierro y fósforo.

La mayoría de los aminoácidos presentes en la naturaleza pueden detectarse en las aguas residuales, como producto de la descomposición de proteínas.

Otros compuestos importantes son los azúcares como la glucosa, lactosa, sacarosa, fructosa y galactosa; y los ácidos como el acético, propiónico, butírico, láctico y cítrico. También, se pueden encontrar celulosa, almidón y lignina.

Las grasas son descompuestas más lentamente por las bacterias, pero pueden actuar sobre ellas los ácidos minerales, dando glicerina y ácidos grasos; éstos, a su vez, pueden reaccionar con los álcalis, dando glicerina y jabones (sales alcalinas de ácidos grasos).

Debido a que son menos densas que el agua flotan, y esto interfiere en los procesos de tratamiento y la vida biológica, favoreciendo el ambiente anaerobio, en cuyas condiciones la degradación es más lenta y se desprenden gases que causan malos olores.

Recientemente se está prestando interés a la gran diversidad de moléculas orgánicas sintéticas que están apareciendo en la composición de las aguas residuales: agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas.

Asimismo, los procesos de cloración de aguas de abastecimiento y la alteración que puede producirse de compuestos orgánicos naturales y de síntesis, hace que puedan aparecer subproductos de una descomposición parcial de las moléculas orgánicas complejas.

Hay una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, puesto que, nos permiten conocer el contenido en materia orgánica de éstas. Los más importantes son:

***Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):*** es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 ó 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO ó DBO<sub>5</sub>, respectivamente.

Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO<sub>5</sub>, es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg. El CO<sub>2</sub> desprendido

en la oxidación de la materia orgánica, es absorbido mediante NaOH o LiOH que se coloca en un recipiente en el tapón de las botellas; como consecuencia, se produce un descenso de presión que es registrado en un manómetro de mercurio, cuya escala viene expresada en mg/l de oxígeno consumido.

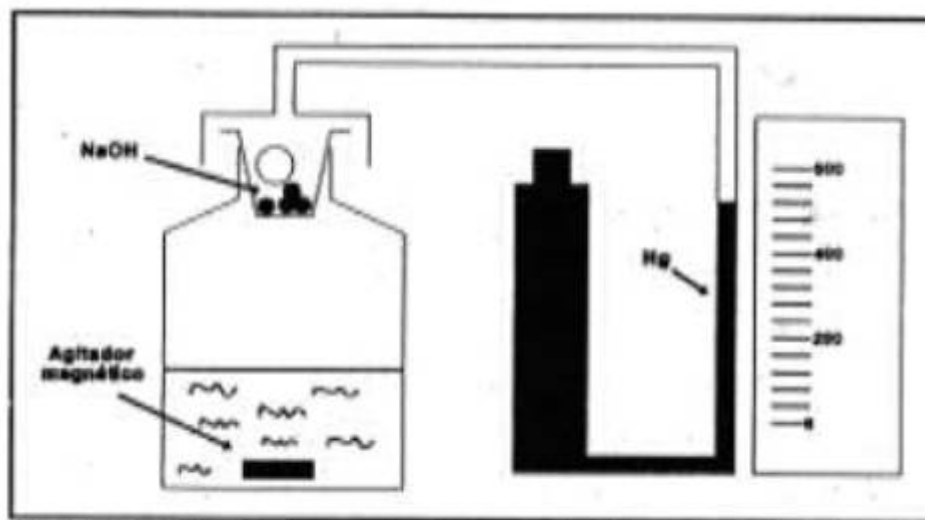


FIGURA 17.4. Esquema del aparato manométrico para determinación de DBO<sub>5</sub>.

La determinación de la DBO<sub>5</sub> presenta como inconvenientes el largo tiempo del test y la imposibilidad de diferenciar entre demanda de oxígeno carbonado y demanda de oxígeno nitrogenado. Sin embargo, tiene la gran ventaja de indicarnos la cantidad de materia orgánica biodegradable, lo cual tiene una extraordinaria importancia para el tratamiento biológico.

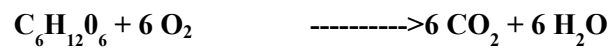
***Demanda química de oxígeno (DQO):*** mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose ***oxidabilidad al permanganato***, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente ***DQO***.

**Carbono orgánico total (COT):** se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura. El carbono orgánico se oxida a CO<sub>2</sub>, en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores de COT dan una estimación de carbono orgánico inferior a la real.

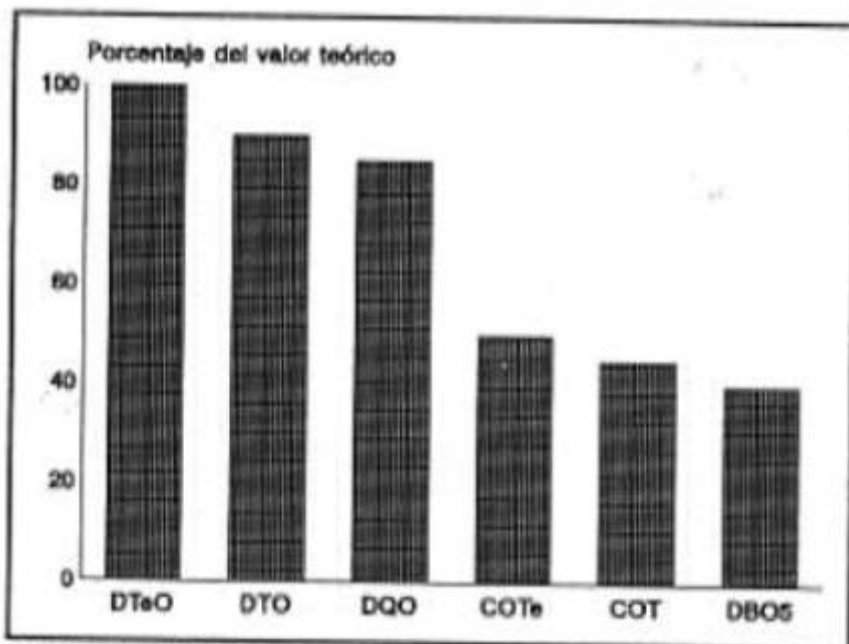
**Demanda total de oxígeno (DTO):** esta prueba se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables. El oxígeno residual es analizado por cromatografía gaseosa, y por diferencia obtenemos la DTO.

**Demanda teórica de oxígeno (DTeO):** se estima mediante una reacción teórica de oxidación total. Para ello, es necesario conocer la composición de las aguas residuales en carbohidratos, proteínas y grasas. Si tomamos la glucosa como ejemplo, sería:



DTeO = 6 moles de O<sub>2</sub>/mol de glucosa = 6 x 32 = 192 gr O<sub>2</sub>/mol.

En la **Figura 17.5** se puede observar la relación entre los parámetros citados.



**FIGURA 17.5.** Relación entre los parámetros correspondientes a la composición de materia orgánica de las aguas residuales.

## **Materia inorgánica**

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales, son:

**pH:** la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales.

De este modo, un efluente con pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales. También es más difícil de tratar por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro.

Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación.

**Cloruros:** se consideraban como indicador indirecto de contaminación fecal, ya que el hombre elimina unos 6 gr de cloruros al día aproximadamente en las excretas. Pero los cloruros pueden tener otras procedencias, como son la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar, y también pueden aparecer debido al uso de sustancias ablandadoras, en los tratamientos del agua de abastecimiento, cuando la dureza de ésta es elevada, por lo que en la actualidad los cloruros han perdido todo valor como indicador de contaminación fecal.

**Alcalinidad:** nos mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio, amoníaco, etc. El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y el aporte por las sustancias de uso doméstico.

**Nitrógeno:** es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas; la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. Pero, también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones. Estas altas concentraciones pueden ser resultado de la fertilización en la agricultura, mediante fertilizantes artificiales y abonos animales, y si se filtran a las aguas subterráneas, constituyen un problema para los abastecimientos de agua.

El nitrógeno está presente en el agua residual reciente en forma de urea y proteínas, pero estos compuestos son fácilmente degradables por las bacterias, que los transforman en amonio, y a partir de él producen nitritos y nitratos. Al ser el amonio el primer producto de la degradación de la urea y del material proteico, se puede considerar como producto de la degradación de la urea y del material proteico, se puede considerar como el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal reciente. Hay algunas especies que utilizan el amonio preferentemente al nitrato, cuando ambos están disponibles; e incluso, el amonio puede inhibir la captación de nitratos por los organismos. Sin embargo, el amonio resulta tóxico para algunas especies de microorganismos, sobretodo en forma de  $\text{NH}_3$ , porque está descargado y es soluble en

los lípidos, por lo que puede atravesar las membranas biológicas más rápidamente. Esto puede interferir el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Las conversiones entre las distintas formas del nitrógeno, están influenciadas por el pH y la temperatura del medio.

Los nitritos se suelen considerar como indicadores indirectos de contaminación fecal. Son inestables y se oxidan fácilmente a nitratos. Su ausencia en el medio puede deberse a condiciones anóxicas, que obliguen a los microorganismos a utilizar el oxígeno ligado, llevando el hidrógeno a formas más reducidas.

Los nitratos son la forma más oxidada del nitrógeno que se encuentra en las aguas residuales. Su aumento creciente en las aguas subterráneas es preocupante, ya que, puede alcanzar las fuentes de agua de bebida y llegar a ocasionar graves enfermedades, como la metahemoglobinemia infantil y el aumento en la incidencia de cáncer.

**Fósforo:** es también esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. Al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización.

Es por ello por lo que se está prestando en la actualidad un interés creciente en controlar la cantidad de fósforo que entra a formar parte de las aguas residuales, especialmente como componente de los detergentes. Así, se está sustituyendo el tripolifosfato de sodio, que es el principal componente de éstos, por otros compuestos como la sal sódica del ácido nitrilotriacético.

**Azufre:** es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis.

Las bacterias pueden realizar esta reducción de los sulfatos a sulfuros y  $\text{SH}_2$ , en condiciones anaerobias. Estos últimos compuestos son importantes en el comportamiento de los residuos líquidos y su grado de septización. El  $\text{SH}_2$  puede ser también oxidado a sulfato, que es corrosivo para las tuberías del alcantarillado. Si éste llega a contaminar el agua de bebida, puede causar trastornos gastrointestinales, sobre todo en niños. Además, el sulfato de magnesio produce sabor amargo al agua.

**Compuestos tóxicos:** algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimentaria y pudiendo llegar al hombre.

Su efecto sobre las plantas de tratamiento biológico puede ser drástico, al morir por contaminación los microorganismos que lo realizan, y paralizarse, por tanto, los procesos.

**Metales pesados:** algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en moluscos), plata (puede producir argüiría), arsénico (melanodermia del



pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio produce cáncer y caries).

Algunos metales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, se encuentran como elementos trazas en muchas aguas, y son necesarios para la vida biológica. Pero cuando alcanzan altas concentraciones pueden resultar tóxicos, inhabilitando el agua para algunos usos y acumulándose en los organismos y microorganismos acuáticos.

El cadmio se acumula y produce anomalías en hígado y riñón. El mercurio y sus derivados han provocado intoxicaciones colectivas por acumularse en la cadena alimentaria acuática, de las cuales, la más conocida es la de la Bahía de Minamata (Japón), en 1950, por acumulación de mercurio en el pescado.

## **Gases**

Los gases que se encuentran más frecuentemente en la composición de las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano. Los tres primeros se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, ya que son gases comunes en la atmósfera. El resto son resultado de la descomposición de la materia orgánica.

Dentro de estos gases, los de mayor interés son:

**Oxígeno disuelto:** es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento.

La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua. Por ello, sus niveles son indicativos del nivel de calidad de las aguas.

La cantidad de oxígeno va a depender, también, de otros factores:

- Solubilidad del gas.
- Presión parcial del gas en la atmósfera.
- Temperatura.
- Características del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.).

**Sulfuro de hidrógeno:** se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor característico muy desagradable.

Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina un color negro en el agua.

**Metano:** es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad. En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse, es necesaria una ventilación adecuada.

## CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

A continuación se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

**Bacterias:** pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.

En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los siguientes grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, estreptococos fecales, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc.

Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias.

**Virus:** proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.

Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus.

La gran supervivencia de los virus origina la resistencia a algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras. Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flóculos y de esta forma son separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos quedan en el efluente, siendo un peligro para la salud, aunque el mayor riesgo lo constituyen aquellos que quedan en el fango, en mayores cantidades, sobre todo si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo.

**Algas:** su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de *eutrofización*. Este fenómeno esta producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*, *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc.

**Protozoos:** los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez.

**Hongos:** la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*.

En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como *bulking*, debido a que su presencia dificulta la sedimentación de los fangos.

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS**

Más que el conocimiento químico exacto de la composición de las aguas residuales urbanas, tres son las características más importantes que debemos destacar, desde un punto de vista sanitario y en relación con el tratamiento:

- La gran cantidad de *sólidos* presentes.
- La abundancia de *sustancias biodegradables*.
- La presencia de un gran número de *microorganismos*.

Como se ha relacionado anteriormente, en las aguas residuales están contenidas una serie de sustancias que pueden ser utilizadas como alimento por los microorganismos presentes, siendo eliminadas de esta forma de las aguas residuales, denominándose por esta razón *biodegradables*.

La nutrición de los microorganismos se hace a expensas, no sólo de los sustratos solubles, sino también de los sustratos particula-dos e insolubles, ya que estos son adsorbidos en las superficies bacterianas dónde son atacados por exoenzimas (esterasas,

carbohidrasas, proteasas, etc.), disminuyendo su tamaño hasta el nivel molecular (Fig. 17.6).

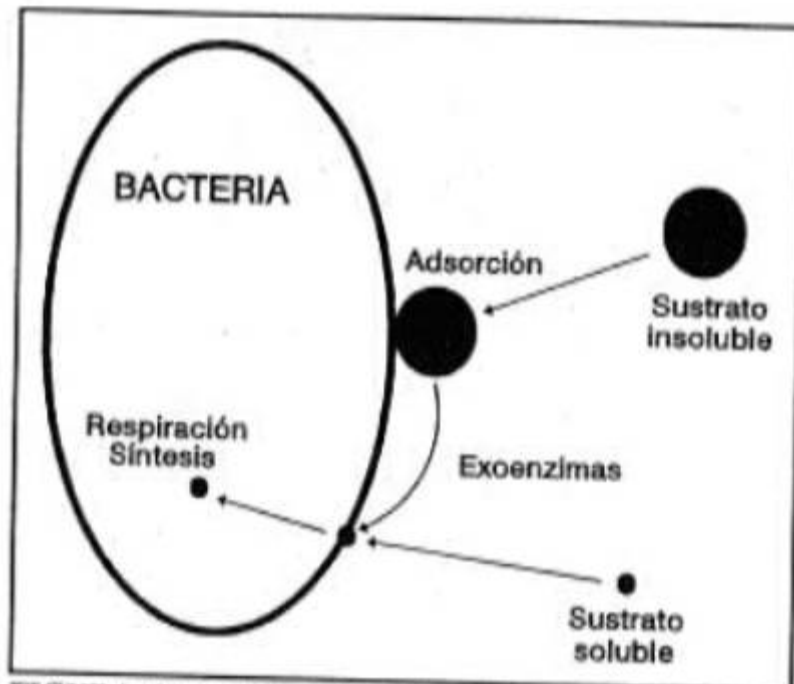


FIGURA 17.6. Metabolización de los sustratos por los organismos en las aguas residuales.

## AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Los efluentes industriales deben su diversidad a los procesos de los que proceden, y, en función de ellos, pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción. Los componentes de dichos vertidos se pueden clasificar, según los métodos de tratamiento, en:

- *Elementos insolubles separables físicamente*
  - *Materias grasas flotantes:* grasas, hidrocarburos, alquitranes, aceites. Estas sustancias provocan olor y sabor desagradables, ensucian las instalaciones de tratamiento, y pueden producir la muerte de peces por asfixia, al recubrir las branquias, y de gran variedad de algas e insectos acuáticos.
  - *Materias sólidas en suspensión:* arenas, óxidos, hidróxidos, pigmentos, azufre coloidal, látex, fibras, etc. Pueden requerir coagulación-floculación para ser eliminadas.
- *Elementos orgánicos separables por adsorción:* colorantes, detergentes, compuestos macromoleculares diversos y compuestos fenolados.

*-Elementos separables por precipitación:*

- *Metales:* hierro, cobre, zinc, níquel, berilio, titanio, aluminio, plomo, mercurio y cromo, precipitables en un rango determinado de pH. Estos metales pueden llegar a estar implicados en ciclos bioquímicos complejos.
- *Sulfitos, fosfatos, sulfatos y fluoruros:* pueden ser precipitados por adición de determinados cationes.
- *Elementos que pueden precipitar en forma de sales insolubles de hierro o en forma de complejos:* sulfuros, fosfatos, cianuros y sulfocianuros. El cianuro impide las reacciones de oxidación del fósforo.
- *Elementos separables por desgasificación o stripping:* ácido sulfhídrico, amoníaco, alcoholes, fenoles y sulfuros.
- *Elementos que necesitan una reacción de oxidación-reducción:* cianuros, cromo hexavalente, sulfuros, cloro y nitritos.
- *Ácidos y bases:*
  - Ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico y fluorhídrico.
  - Bases diversas.
- *Elementos que pueden concentrarse por intercambio iónico o por ósmosis inversa:*
  - *Radionúclidos:* Los isótopos más importantes, por su acumulación en las cadenas tróficas son  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  y  $^{32}\text{P}$
  - *Sales de ácidos y bases fuertes:* compuestos orgánicos ionizados (intercambio iónico) o no ionizados (ósmosis inversa).
- *Elementos que se eliminan mediante tratamiento biológico:* azúcares, proteínas y fenoles. Los tratamientos biológicos pueden aplicarse también, después de una fase de adaptación de los microorganismos, a compuestos orgánicos tales como el fenol, la anilina y ciertos detergentes.

## AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS

En general, constituyen una mezcla de aguas domésticas de la población, junto con las de riego de las tierras y el manejo del ganado.

La búsqueda de una mayor productividad agrícola ha llevado al empleo de una gran variedad de sustancias que, a la par que causan beneficios, pueden producir daños de forma indirecta.

Así, los fertilizantes tienen sus desventajas: nitratos, fosfatos y compuestos de amonio pueden contaminar ríos, lagos y mares, alterando el equilibrio de las especies acuáticas.

También se utilizan plaguicidas: herbicidas, fungicidas y pesticidas. Estas sustancias pueden producir un efecto tóxico sobre las especies, incluido el hombre.

En el agua, los pesticidas pueden ser descompuestos por mecanismos físicos, químicos y microbiológicos. Pero, para asegurar su biodegradación, antes de emitirlos al medio ambiente, se debe conocer su potencial de bioconcentración y biodegradación microbiana.

Además de todos estos problemas, está el hecho de que, estas aguas, al recoger los residuos del ganado, van a estar fuertemente cargadas de materia fecal, que se sumaría a la contaminación fecal contenida en las aguas domésticas de la población. A este respecto, se puede hacer una determinación del origen de la contaminación fecal, basándose en la relación coliformes fecales/estreptococos fecales.

Para evitar el riesgo que suponen los componentes de las aguas residuales agrícolas, se deben depurar antes de verterlas en aguas superficiales, e intentar descubrir otras sustancias, cuya degradación natural sea más rápida y no afecte a otra forma de vida fuera de la que se intenta combatir.

## **BIBLIOGRAFIA**

**ESPIGARES GARCÍA, M. y PÉREZ LÓPEZ, JA.** *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.

**METCALF-EDDY:** *Tratamiento y depuración de aguas residuales.* Ed. Labor, S.A. Barcelona. 1977.

**RIVAS MIJARES, G.:** *Tratamiento de aguas residuales.* 2ª ed. Ediciones Vega. Caracas. 1978