

ASPECTOS METODOLOGICOS EN ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA.

I. DE BUSTAMANTE*

RESUMEN

En este trabajo se realiza una revisión de distintas metodologías seguidas en estudios de calidad y contaminación de aguas superficiales y subterráneas, comentandose distintos aspectos prácticos y sus aplicaciones.

PALABRAS CLAVE

Calidad. Contaminación. Aguas Superficiales. Aguas Subterráneas.

ABSTRACT

In this paper we review some methodologies for the quality and pollution of the water (groundwater and surface water). It is studied their practical aspects and applications.

KEY WORDS

Quality. Pollution. Surface water. Groundwater.

* Departamento de Geología. Universidad de Alcalá.

INTRODUCCION

Aunque en muchas ocasiones al hablar de calidad de un agua nos referimos al estado de contaminación de la misma, vamos a distinguir ambos términos: "calidad" son aquellas características físicas, químicas y biológicas que definen la composición del agua; "contaminación" es la alteración o modificación de alguna de sus características esenciales o las perturbaciones producidas por los seres vivos como consecuencia de su actividad.

Según estas definiciones y centrandonos en el tema que nos ocupa, que es el agua,

vamos a describir que "perturbaciones" pueden ocasionarse en el medio hídrico.

El agua, tanto superficial como subterránea, se contamina por la incidencia de los vertidos, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos.

El control de la contaminación del agua tiene por objeto la protección del medio acuoso. La calidad precisa o deseada a mantener en el agua, depende de los usos que se pretenda dar a la misma, por lo que, la eficacia de las diversas medidas de control de la contaminación adoptadas, exige disponer de normas de calidad de acuerdo con los diversos usos a que esta se destine.

La calidad de un agua puede ser definida según muchos criterios, pero las características comunes de casi todas las definiciones se basan en la concentración de sustancias específicas que puedan causar efectos identificables, por lo que esta se define en función de la determinación de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos (Tabla I). Estos parámetros son también esenciales para el conocimiento del grado de contaminación del agua.

TABLA I

PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE UN AGUA.

Parámetros Físicos:

- Color
- Olor
- Temperatura
- Sólidos: - disueltos
 - suspendidos

Parámetros Químicos:

a) Parámetros orgánicos:

- Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Carbono Orgánico Total (COT)
- Demanda Total de Oxígeno (DTO)

b) Parámetros inorgánicos:

- Salinidad
- Dureza
- pH
- Acidez
- Alcalinidad
- Sodio
- Cloruros
- Sulfatos
- Fluoruros
- Metales Pesados
- Nitrógeno
- Fósforo
- Fenoles
- Detergentes
- Pesticidas

Parámetros bacteriológicos:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Organismos patógenos

Evidentemente, la magnitud de parámetros es tal y su determinación tan costosa, que es necesario recurrir a una selección de ellos, según el uso a que se destine el agua y establecer una serie de índices que permitan su manejo.

Así, los parámetros mas utilizados en relación con los usos son:

- Usos domesticos: turbidez, sólidos disueltos, tóxicos y coliformes.
- Usos agrícolas: sólidos disueltos y contenido en sales.
- Usos de recreo: turbidez, tóxicos y coliformes.
- Vida acuática: oxígeno disuelto y compuestos organoclorados.

El uso que se puede hacer de este recurso depende de las concentraciones de sus constituyentes. Cualquier componente suficientemente diluido puede originar un impacto que no restrinja el uso perseguido. Es por esto que, todos los componentes, dependiendo de su concentración, pueden ser potencialmente contaminantes, pudiendose agrupar en las siguientes categorías [CUBILLO, 1984]:

- Agentes tóxicos e infecciosos.
- Sustancias consumidoras de oxígeno.
- Productos químicos orgánicos persistentes.
- Nutrientes.
- Materias suspendidas.
- Minerales y componentes químicos causantes de problemas específicos.
- Calor.
- Sustancias radiactivas.

Estos componentes que afectan a la calidad del agua, son originados por diversas fuentes o agentes contaminantes, que se pueden dividir en:

* **Fuentes naturales:** atmósfera, minerales disueltos, muerte de vegetación, escorrentía de tormentas, vida acuática, etc.

* **Vertidos:** vertidos urbanos, vertidos industriales, escorrentía urbana, productos de tratamiento de agua, actividades de recreo, vertederos de residuos sólidos, actividades mineras, etc.

* **Fuentes agrícolas:** fertilizantes, pesticidas, retornos de riegos, residuos animales, etc.

En algunos casos los problemas de contaminación pueden ser originados por sustancias procedentes de una única fuente, pero comúnmente son el resultado de la contribución acumulada de varias de ellas. Estas fuentes originadoras de contaminación pueden considerarse como puntuales o difusas.

Las fuentes puntuales son aquellas que pueden ser identificadas como puntos específicos de vertido (por ejemplo, un colector de aguas residuales que incide directamente sobre un cauce).

Las fuentes difusas, son aportaciones de contaminantes que no pueden identificarse en puntos específicos de entrada de poluentes (por ejemplo, la entrada de fertilizantes en cauces por efecto de escorrentía superficial o subterránea).

Dado que es distinta la dinámica del medio superficial y subterráneo así como las técnicas de estudio y recuperación, vamos a tratar en lo que sigue, de los distintos métodos de estudio de calidad y contaminación en estos medios, en función del ámbito geográfico y del fin que se persiga, comenzando por las aguas superficiales para continuar con las subterráneas.

MÉTODOS DE ESTUDIO DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES.

Dentro de las aguas superficiales continentales, vamos a centrar el tema en los ríos,

ya que estos han sido por tradición los mejores receptores de residuos.

Un río es un ente dinámico sometido a un complejo conjunto de factores, que hacen que varíen continuamente sus características físico-químicas y por consiguiente la calidad natural de sus aguas. Estos factores son: condiciones climáticas, caudales circulantes, detracciones y regulaciones, aportaciones de vertidos, retorno de regadíos, respiración y fotosíntesis de las algas, etc.

En cuanto a la determinación de la calidad o grado de contaminación de los ríos, el número de variables que pueden ser consideradas es demasiado grande para que en la práctica sea posible examinar la evolución de cada una de ellas, tanto en el ambiente geográfico como en el temporal. Es por esto que se viene considerando el uso de índices empíricos, que combinan los valores de varios parámetros en un único indicador numérico, considerando la importancia relativa de cada parámetro y su concentración.

Los dos índices que se consideran más representativos de los que se vienen manejando en España, son el Índice de Calidad General (ICG) empleado por la Dirección General de Obras Hidráulicas y el Índice simplificado de Calidad de Aguas (ISQUA) utilizado por la Generalitat de Catalunya en su "Pla de Sanajement" y posteriormente por la Comunidad de Madrid en el "Plan Integral del Agua en Madrid" (PIAM).

Índice de Calidad General

El ICG es un número adimensional, resultado de la combinación de datos analíticos de las aguas, que permite establecer estudios comparativos de la calidad con el carácter abstracto e independiente de sus posibles usos. Se puede decir que es la media ponderada de niveles de calidad deducidos mediante funciones de equivalencia de los resultados analíticos.

Este índice está definido por veintitres parámetros, atribuyéndoles a cada uno de ellos un coeficiente de importancia "a" con los siguientes valores:

- a = 1: parámetro muy importante.
- a = 2: parámetro de importancia fuerte.
- a = 3: parámetro de importancia débil.
- a = 4: parámetro de importancia dudosa.

Su expresión matemática es:

$$Q_i \times P_i = I.C.G.$$

representando Q_i los niveles de calidad de cada parámetro y P_i la importancia del parámetro utilizado ($P_i = 1/a_i$).

Para el ICG es válida la siguiente clasificación del agua:

- Entre 100-90: excelente
- Entre 90-80: buena
- Entre 80-70: intermedia
- Entre 70-60: admisible
- Entre 60- 0: inadmisible

Índice Simplificado de Calidad de Aguas.

El ISQUA, al igual que el ICG, es un número adimensional. Permite operar con muy pocos parámetros analíticos y a la vez ofrece garantías en los resultados obtenidos.

Este índice está definido solamente por cinco parámetros, y su expresión es:

$$ISQUA = T(A+B+C+D)$$

en donde:

T, es la temperatura del agua del río medida en °C. Su valor asignado varía entre 0,8 y 1.

A, es la oxidabilidad y corresponde al oxígeno consumido en una oxidación con MnO_4K en ebullición y medio ácido. Incluye el contenido orgánico, tanto si es natural como si no lo es. Varía entre 0 y 30.

B, son las materias suspendidas que se pueden separar por filtración. Este parámetro incluye polución orgánica, inorgánica, indus-

trial y/o urbana. Tiene mucha influencia en la fotosíntesis. Varía entre 0 y 25.

C, oxígeno disuelto en el agua: su concentración está en relación con la oxibilidad, sobre todo con el contenido de materia orgánica biodegradable. Varía entre 0 y 25.

D, conductividad eléctrica a 18 °C: mide la concentración de sales inorgánicas. Varía entre 0 y 20.

En la Figura 1 puede observarse la variación de los cinco parámetros que constituyen el ISQUA en función de la concentración del elemento que los define.

Clasificaciones por Usos de Aguas.

Como ya hemos señalado en el apartado anterior, el criterio más práctico para la valoración de la calidad de un agua, es el que asocia ésta, con el uso que de la misma se pueda hacer.

En general, el agua permite los siguientes usos:

a) Utilización fuera del lugar donde se encuentra:

- * Uso doméstico.
- * Uso industrial.
- * Uso agropecuario.
- * Producción hidroeléctrica.

b) Utilización del río:

- * Uso recreativo.
- * Usos deportivos.
- * Usos estéticos.

c) Como soporte de la vida acuática.

Estos usos se fijan marcando unos límites en las concentraciones de determinados componentes (Tabla II), es decir, de aquellos que condicionan dicho uso.

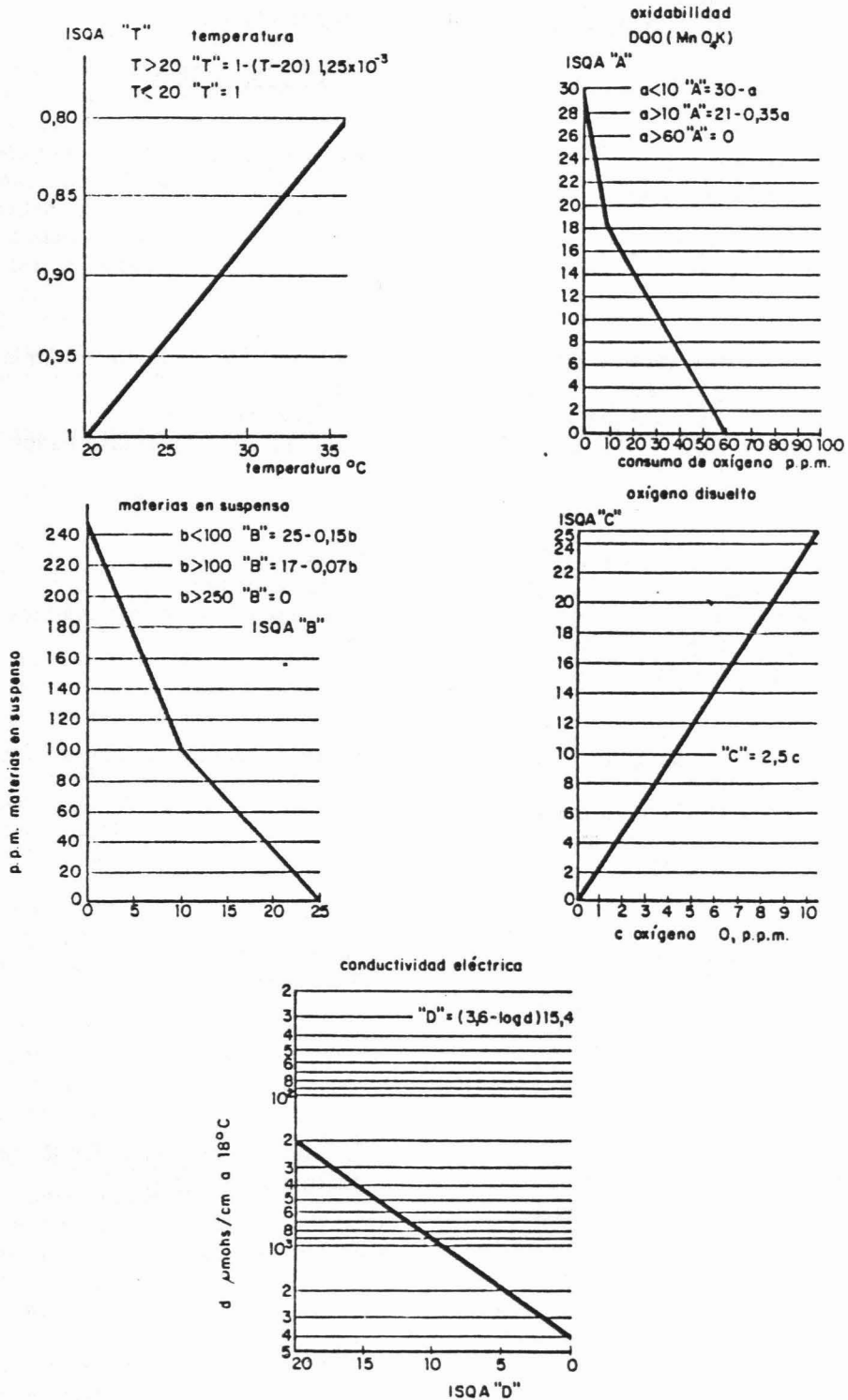


Figura 1. Variación de parámetros para el ISQUA.(Fuente: Generalitat, 1984)

Parameters variation for the ISQUA.

TABLA II. CRITERIOS DE CLASIFICACION DEL AGUA PARA DIFERENTES USOS
(Fuente: Cubillo, 1986)
CLASIFICACION OF DIFFERENT USING WATERS

<u>TIPO</u>	<u>PARAMETROS</u>	<u>USOS DEL AGUA</u>
1	Temperatura < 20°C O ₂ disuelto > 7 mg/l DBO ₅ < 3 mg/l DQO < 20 mg/l ISQUA > 85	Todos los usos.
2	20°C < Temperatura < 22°C 5 mg/l < O ₂ disuelto < 7 mg/l 3 mg/l < DBO ₅ < 5 mg/l 20 mg/l < DQO < 25 mg/l 60 < ISQUA < 85	Agua potable mediante tratamientos convencionales. Piscicultura Usos recreativos, incluso baños.
3	22°C < Temperatura < 25°C 3 mg/l < O ₂ disuelto < 5 mg/l 5 mg/l < DBO ₅ < 10 mg/l 25 mg/l < DQO < 40 mg/l 45 < ISQUA < 60	Riego. Agua industrial. Agua potable (con tratamientos especiales).
4	25.248°C < Temperatura < 30°C Medio aeróbio 10 mg/l < DBO ₅ < 25 mg/l 40 mg/l < DQO < 80 mg/l 30 < ISQUA < 45	Riego de plantas sin consumo directo.
5	Temperatura > 30°C Indicios de O ₂ disuelto 25 mg/l < DBO ₅ < 35 mg/l 80 mg/l < DQO < 90 mg/l ISQUA < 30	Navegación. Refrigeración.
6	Temperatura > 30°C Ausencia de O ₂ disuelto 35 mg/l < DBO ₅ < 50 mg/l 80 mg/l < DQO < 90 mg/l ISQUA < 30	Uso muy restringido, siendo necesarios análisis específicos.
7	Temperatura > 30°C Ausencia de O ₂ disuelto DBO ₅ > 50 mg/l DQO > 90 mg/l ISQUA < 25	Sin uso.

Estudios de Calidad en aguas superficiales.

Uno de los factores que suele condicionar un estudio de calidad, es su ambito geográfico, el otro y fundamental, es el objetivo que se persigue. Atendiendo al primero, se puede hablar de estudios regionales, locales y puntuales. Atendiendo al segundo factor, los estudios pueden plantear un conocimiento general de calidad de las aguas de los ríos; o pueden plantear el estudio de una zona con el fin de planificar actuaciones correctoras (como es la filosofía seguida en los Planes de Saneamiento), o pueden plantear directamente la solución a un hecho concreto (como por ejemplo, el dimensionamiento de una estación depuradora de aguas residuales).

Dependiendo de estos factores, los métodos de estudio varían sensiblemente, así como las técnicas y representaciones a utilizar. Así por ejemplo, en un estudio regional son muy útiles los mapas de índice de calidad, ya que visualizan comparativamente distintas situaciones geográficas y temporales, con lo que se obtiene un estado general de la calidad. En un estudio mas localizado en ámbito y materia, resulta mas eficaz la evaluación de la calidad por usos. Y ya, en estudios puntuales, los índices de calidad dejan de ser prácticos, pasándose al análisis detallado de cada parámetro.

MÉTODOS DE ESTUDIO DE CALIDAD Y CONTAMINACION EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los estudios de calidad en aguas subterráneas presentan mayor complejidad que los de aguas superficiales debido al grado de enmascaramiento que presentan, es decir, mientras que la contaminación de aguas superficiales es muy visible (con lo que se pueden abordar inmediatamente medidas correctoras), la contaminación de aguas subterráneas, "al no ser visible" suele manifestarse cuando ya ha alcanzado un importante desarrollo en extensión.

Las aguas subterráneas tienen mas facilidad de disolver materiales, por la mayor superficie de contacto con el terreno que presentan, por sus lentas velocidades de circulación y por la presión y temperatura a las que estan sometidas.

La mayoría de las especies químicas que lleva el agua en solución, proceden de la alteración del sustrato que lixivian y de los mecanismos por los cuales este se solubiliza.

Los mecanismos de solubilización son:

- * Disolución.
- * Hidrólisis.
- * Fenómenos Redox.
- * Cambios de pH.

* Procesos biológicos que provocan la variación de pH y Eh del agua, modificando la solubilidad del sustrato.

Pero la composición química que tiene un agua varía a lo largo de su recorrido, como consecuencia de una serie de fenómenos llamados "modificadores" en el sentido que son capaces de modificar dicha composición. Tales son: cambio iónico, la reducción de sulfatos y nitratos, la evapotranspiración, las nuevas disoluciones, etc. Estos fenómenos pueden actuar aislada o conjuntamente, por lo que es conveniente tenerlos presentes en el estudio de la circulación de las aguas en medios naturales.

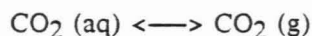
Características de las aguas subterráneas.

Una vez vistos los factores que regulan la composición química del agua subterránea, se va a pasar revista a las distintas especies presentes en la misma, así como a la toxicidad de algunos contaminantes y la persistencia de algunos compuestos orgánicos.

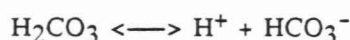
CO₂: es un gas relativamente soluble que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado. Su presencia determina el comportamiento del agua frente a algunos minerales [CUSTODIO-LLAMAS, 1976]. Su concentración en las aguas naturales varía de 1 a 30 mg/l, pudiendo alcanzarse en medios anaerobios concentraciones de hasta 1.500 mg/l. En el suelo, el CO₂ se produce por la descomposición de la materia orgánica, así como por la reducción de sulfatos y nitratos. Concentraciones altas de CO₂ dan un caracter agresivo a las aguas.

Oxígeno: produce un medio oxidante, jugando un papel esencial en la solubilización e insolubilización de los iones que cambian de valencia con facilidad, así como en la actividad de los microorganismos. Su ausencia produce un medio anaerobio. Se consume con facilidad si existen sustancias oxidables, tales como materia orgánica, Fe^{++} , NH_4^+ , NO_2^- , etc, en especial por acción biológica. La concentración a saturación del O_2 de un agua en contacto con la atmósfera es de 10 mg/l; previa a la infiltración, el agua puede estar incluso sobresaturada en oxígeno, pero en el terreno, el O_2 se consume y su renovación es difícil [CUSTODIO-LLAMAS, 1976]. Un exceso de O_2 produce corrosividad.

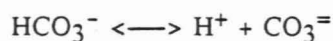
Carbonatos y Bicarbonatos: su existencia nos indica la relación existente entre el CO_2 (gas), el CO_2 (aq), el pH y ellos mismos. Las concentraciones de estos compuestos en las aguas oscilan entre 50 y 300 mg/l. Los equilibrios que tienen lugar entre estas especies son:



$$K_1 = 3,3 \times 10^{-2} \quad \text{p}K_1 = 1,48$$



$$K_2 = 4,6 \times 10^{-7} \quad \text{p}K_2 = 6,43$$



$$K_3 = 5,6 \times 10^{-11} \quad \text{p}K_3 = 10,25$$

Cloruros: son sales en general muy solubles y estables en disolución. Su contenido en las aguas continentales oscila entre 10 y 250 mg/l, dando al agua en concentraciones superiores sabor salado, aunque no es perjudicial hasta que alcanza valores de 1 g/l. El ión Cl^- es esencial para la vida, aunque en concentraciones elevadas es perjudicial para las plantas y da al agua carácter corrosivo.

Sulfatos: los sulfatos son sales bastante solubles, excepto las de bario y estroncio. En medios anaerobios con materia orgánica pueden sufrir una reducción a S o $\text{S}^{=}$. En las aguas naturales su concentración varía entre 2 y 200 mg/l. Las aguas selenitosas no qui-

tan la sed y tienen sabor amargo. Los sulfatos por sí mismos, o si van asociados a sodio o magnesio, actúan como laxantes. Concentraciones elevadas de $\text{SO}_4^{=}$ son perjudiciales para las plantas, así como para la resistencia de cementos y hormigones.

Compuestos Nitrogenados: el nitrógeno junto con el oxígeno, hidrógeno y carbono, es un elemento esencial para la vida, ya que forma parte de los aminoácidos que son los promotores de las proteínas tanto vegetales como animales [RUSSELL, 1964].

El 95% del nitrógeno que existe en la mayoría de los suelos, está en forma de nitrógeno orgánico y solo un 5% en forma de nitrógeno mineral. Dentro de la gama del nitrógeno orgánico se encuentran las proteínas, los ácidos nucleicos y aminoazúcares, que en general son compuestos de condensación y formas acopladas de las ligninas. Los aminoácidos libres están en cantidades pequeñas. El nitrógeno orgánico agrupa formas fácilmente degradables y formas de difícil degradación. El 5% del nitrógeno inorgánico del suelo, se suele encontrar en forma de ión amonio, presentándose en solución o absorbido en la fracción coloidal. También puede aparecer en forma de nitratos que al ser móviles pasan por lavado a las aguas subterráneas.

Los nitratos y nitritos se encuentran generalmente como formas de libre difusión, mientras que el amonio puede encontrarse en forma intercambiable o no intercambiable. El amonio no intercambiable es fuertemente retenido por las arcillas, siendo su extracción solo posible con ácido fluorhídrico que disuelve los minerales silicatados. En estos minerales, puede entrar sustituyendo al potasio entre las capas de arcilla o situarse en forma intercambiable [MOORE, 1970].

Las condiciones de infiltración del nitrógeno en profundidad dependen de la relación suelo-acuífero, que puede explicarse según tres situaciones [ALFOLDI, 1982]:

- Que entre el suelo y el acuífero exista una capa impermeable, con lo que este último estará independizado de la capa superior del suelo y las posibilidades de contaminación serán mínimas:

- Que la distancia entre el suelo y el acuífero sea pequeña y pueda haber una comunicación entre ambos por capilaridad. En periodos secos el agua del acuífero ascenderá para compensar las pérdidas ocasionadas por evaporación y evapotranspiración y en época de lluvias el agua descenderá hasta el acuífero pudiéndose producir contaminación.

- Por último, cuando el acuífero está muy alejado del suelo, la permeabilidad de la capa intermedia puede favorecer el movimiento vertical del agua que se libera en la parte superior.

La presencia de nitratos en las aguas subterráneas, suele proceder de prácticas agrícolas. Si el medio subterráneo es reductor, los nitratos pasan a nitritos, a amoniaco y a nitrógeno molecular.

Los compuestos nitrogenados en concentraciones elevadas son tóxicos, produciendo alteraciones en la función tiroidea, disminución de la vitamina A en el hígado, etc. En los lactantes, concentraciones altas de nitratos, pueden producir cianosis. La reacción de nitratos con aminas y aminoácidos, generan ciertos compuestos cancerígenos como son la nitrosaminas.

Fósforo: el fósforo en el suelo puede encontrarse en forma orgánica o mineral. El fósforo orgánico representa del 20% al 60% del total. Los iones fosfatos de ciertos complejos orgánicos, pueden ser adsorbidos por el coloide del suelo a través del calcio, el aluminio y el hierro [RUSSELL, 1964]. El fósforo puede encontrarse combinado con estos elementos o formar parte de la solución del suelo; al igual que el orgánico puede ser adsorbido por la fracción coloidal, uniéndose al complejo arcillo-húmico mediante puentes de calcio. Estos iones se reintegran a la solución del suelo fácilmente [DREVER, 1982].

Potasio: el potasio es uno de los elementos más abundantes de la litosfera, liberándose por la alteración de los minerales que lo contienen. Es un elemento muy soluble, sin embargo es adsorbido con gran facilidad en el proceso de neoformación de arcillas, por lo que su contenido en las aguas subterráneas es muy bajo. El potasio en si, no es un elemento tóxico, pero si su concentración es

muy alta hace disminuir la del sodio para reestablecer el equilibrio iónico.

Sodio: el sodio forma sales muy solubles, pudiendo ser adsorbido por las arcillas por cambio catiónico. Concentraciones altas de sodio en el suelo disminuyen su permeabilidad, siendo perjudicial para las plantas. El sodio es un agente dispersante, por lo que su nivel en sangre es muy importante, ya que produce la dispersión de coloides insolubles haciendolos precipitar, por lo que favorece la función renal.

Materia Orgánica: la materia orgánica del suelo es uno de los compuestos mas complejos de la naturaleza. Con este nombre se designan todos los compuestos orgánicos que se encuentran en el suelo, a excepción de los animales y vegetales vivos.

La materia orgánica se transforma en el suelo por diversos mecanismos y agentes, proporcionando compuestos relativamente estables de color oscuro y naturaleza coloidal que se denominan "humus" [DUCHAFOURT, 1984].

Los residuos vegetales constituyen una fuente importante de materia orgánica. Cualitativamente aportan hidratos de carbono, proteínas, grasas, ligninas, polifenoles (taninos), alcaloides, colorantes, etc. De todos ellos los mayoritarios son los hidratos de carbono, los taninos y las ligninas. Los taninos son polímeros polifenólicos que se extraen de la madera y de la fruta. La lignina es un polímero molecular de naturaleza aromática, constituida por unidades de fenilpropeno mas o menos modificadas y con diversos sustituyentes (-CH₃, -OCH₃, -OH, etc). La investigación sobre degradación microbiana de la lignina y su conversión en sustancias húmicas, representa uno de los problemas biológicos mas complejos y peor conocidos, llevándose a cabo por hongos de las clases Basidiomycetes y Ascomycetes y por bacterias de los ordenes Actinomycetales y Myxobacteriales, siendo este proceso muy lento [GUMUCIO, 1986].

- **Metano:** la formación de metano se debe a la degradación en condiciones anaerobias de los compuestos orgánicos existentes.

Esta degradación se produce en dos etapas [RAMALHO, 1983]:

1ª Fermentación ácida: las cadenas orgánicas largas, son reducidas a ácidos orgánicos cortos, con una bajada importante del pH, permaneciendo la demanda química de oxígeno (DQO) mas o menos constante. Este paso dura del orden de 48 horas.

2ª Fermentación metánica: después de dos días, comienza la ruptura de todos estos ácidos, con aumento del pH y reducción de la DQO y a medida que disminuyen los compuestos volátiles, comienza la formación de metano que va aumentando con el tiempo (Figura 2).

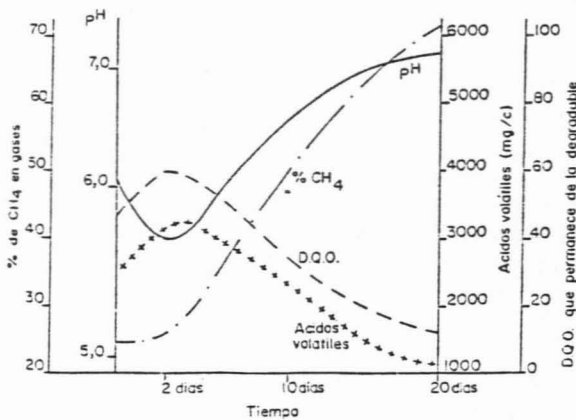


Figura 2. Degradación anaerobia de un desecho orgánico [RAMALHO, 1983]

Anaerobic degradation of a organic pollutant

Características de los distintos tipos de contaminantes.

La lenta circulación de las aguas subterráneas, junto con la capacidad de absorción del terreno, confiere a éste un poder autodepurador frente a muchos agentes contaminantes, pero del mismo modo, una vez que se ha producido dicha contaminación, su regeneración es extremadamente lenta, si es que puede llegar a lograrse con medios técnicos y económicamente viables [VILLARO, 1981].

Si bien esta regeneración se ha desarrollado en cuanto a la gestión de vertidos a cauces superficiales (dadas las pésimas condiciones de la calidad de los ríos de la geo-

grafía peninsular), no ha ocurrido lo mismo con los vertidos que inciden sobre las aguas subterráneas, debido a que como ya se ha dicho, el enmascaramiento de estas ocasionando todo tipo de picaresca por parte del usuario.

Así, el conocimiento de las características del agua residual, de los mecanismos de tratamiento, y de la influencia de la vegetación, es fundamental a la hora de plantear la eliminación de un vertido en el suelo o subsuelo.

Características de las aguas residuales.

Las aguas residuales urbanas se componen de una fracción mineral y otra orgánica que son arrastradas por las corrientes en forma de materia en suspensión (sedimentos y coloides) o en solución. Además existen microorganismos que ayudan a la degradación de la materia orgánica provocando fermentaciones [DEGREMONT, 1979]. Cabe destacar, como características de un agua residual urbana su biodegradabilidad, lo que favorece la posibilidad de su depuración por medios biológicos. Así por ejemplo, algunas cifras que caracterizan un agua residual urbana son [METCALF-EDDY, 1985], una DBO_5 de hasta 400 mg/l, la DQO puede alcanzar los 1.000 mg/l, el N_T los 85 mg/l, el P_T los 15 mg/l, etc.

Las características de los vertidos industriales, debido a su gran diversidad, necesitan de una investigación propia de cada tipo de industria. Así, por ejemplo, las características comunes de la industria agroalimentaria son esencialmente de una contaminación orgánica y biodegradable, una tendencia general a la acidificación y una rápida fermentación; la industria del papel se caracteriza por la emisión de grandes caudales cargados en carbonato cálcico, caolín, sílice, almidón, etc; la industria textil produce efluentes que contienen colorantes, ácidos orgánicos y minerales, álcalis, productos oxidantes y reductores, detergentes, emulsionantes, etc; los principales productos vertidos por la industria del petróleo son fenoles, ácidos sulfónicos, alcoholes, compuestos sulfurados, sales de sodio, etc; los efluentes de la industria metalúrgica están cargados fundamentalmente en metales pesados; etc.

Tratamientos que se producen.

El terreno (en superficie y en profundidad) puede constituir un método de tratamiento físico y químico de las aguas residuales, a la vez que un habitat a los microorganismos, promoviendo el tratamiento biológico.

Así, los principales tratamientos que se producen en este medio lo exponen [RUSSELL, 1964], [SEOANEZ, 1978], [DEGREMONT, 1979], [METCALF-EDDY, 1985].

- la materia orgánica es filtrada por las capas más superficiales del suelo y reducida por oxidación biológica.

- el nitrógeno se elimina por mineralización y por incorporación a los cultivos. Un alto contenido en DQO y DBO favorece los procesos de desnitrificación, ya que al crearse un ambiente anaeróbico, el consumo de oxígeno se produce a partir de compuestos que tienen este elemento en su estructura molecular.

- el fósforo, que se presenta generalmente en forma de ortofosfatos, es adsorbido por minerales de arcilla y por ciertas fracciones del suelo. La precipitación química con calcio (a pH de neutro a alcalino) se produce a una velocidad más lenta que la adsorción, pero es igualmente importante.

- la retención por el terreno de elementos traza (Fe, Mn, Cu, Bo, Mb, etc), se produce a través de adsorción e intercambio iónico, siendo esta capacidad de retención mayor a pH por encima de 7.

- la eliminación bacteriana de los efluentes que pasan a través de los suelos es prácticamente completa, dándose además el hecho de que la aerobacter y ciertas Escherichia (coliformes) pueden crecer en el suelo. El problema que pueden presentar las bacterias patógenas y virus es si se dan riegos por aspersión con aguas residuales que las contengan, ya que los aspersores utilizados para aplicar los efluentes producen una neblina que puede ser transportada por corrientes de aire. A las gotas de niebla, que son extremadamente pequeñas tanto en dimensiones como en masa, se les denomina aerosoles. Los aerosoles generados con un agua residual inadecuadamente desinfectada, pueden contener

bacterias o virus activos; sin embargo Sorber, en 1976, constató que la formación de aerosoles se produce únicamente en el 0,3% del agua residual con la que se realiza la aspersión, llegando esta a distancias máximas apreciables de 30 a 200 m. Esto puede paliarse con zonas de amortiguación, como sería la plantación de barreras de setos o árboles, así como con trayectorias de aspersión poco elevadas.

Los mecanismos de eliminación de las bacterias en las aplicaciones superficiales de aguas residuales al terreno, son por retención, sedimentación, atrapamiento, adsorción, desecación y la acción de los depredadores.

Influencia de la vegetación.

La influencia de la vegetación es muy importante en el caso de aplicaciones superficiales de aguas residuales al terreno, ya que esta capta parte del nitrógeno y del fósforo y elimina algunos cationes como el potasio y oligoelemento (que son esenciales en el ciclo biológico vegetal), mantiene e incrementa la entrada de agua y la permeabilidad del suelo, reduce la erosión y sirve como habitat a los microorganismos [METCALF-EDDY, 1985].

Estudios de calidad en aguas subterráneas.

La caracterización de la calidad de las aguas subterráneas se puede visualizar a través de mapas y diagramas (mapas de distribución geográfica, isolíneas y vulnerabilidad, etc).

Los orígenes de la contaminación de aguas subterráneas son muy variados y coinciden a grandes rasgos con los de las aguas superficiales. Puede citarse: contaminación por actividades urbanas, agrícolas, ganaderas, industriales, contaminación por aguas superficiales, por minería, por intrusión marina, por pozos mal construidos, por pozos de inyección, por vertederos de residuos sólidos, etc.

Como habíamos visto, la magnitud de parámetros que afectan a la calidad del agua es tal, que usarlos todos en conjunto no permite establecer comparaciones ni cuantificar el problema. Se trataría entonces de

aplicar índices específicos en función del tipo de contaminante. Así por ejemplo, la DBO, DQO, COT e I.U.V. indican una contaminación por materia orgánica; los nutrientes son típicos de residuos urbanos; los taninos y las lig-

ninas son indicativos de vertidos de industrias de transformación agraria; etc. Es decir, al abordar un estudio de contaminación de aguas subterráneas, es preciso a priori, sospechar el origen de la misma.

BIBLIOGRAFIA

- ALDOLFI, L. (1982) "Movement and interaction of nitrates and pesticides in the vegetation cover-soil ground water rock system". Inten. Symp. Impac. of Agriculture activists on Groundwater. pp. 1-129, Praga.
- CUBILLO, F. (1986) "Situación actual de la calidad de las aguas en los ríos de la Comunidad de Madrid (Enero 1986)". Comunidad de Madrid. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Dirección General de Recursos Hidráulicos.
- CATALAN LA FUENTE, J. Química del Agua. Talleres Gráficos Alonso S.A. Madrid.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, R. (1976) Hidrología subterránea. Editorial Omega, Barcelona.
- DEGREMONT (1979) Manual técnico del agua. Art. Graf. Grijelmo.
- DREVER, J. (1982) The Geochemistry of natural waters. Prentice-Hall, Inc, Englewood cliffs, N.J. 07632.
- DUCHAFOURT (1984) Edafología 1: Edafogénesis y clasificación. Ed. Masson, Barcelona.
- FARRERAS VALENTI, P. (1973) Medicina interna. Edit. Marín, Barcelona.
- GENERALITAT (1984) "Pla de Sanejament de Catalunya". Departament de Política Territorial y Obres Públiques.
- GUMUCIO, J. (1986) "Comunicación Verbal". Fac. C.C. Químicas. U.A.M.
- METCALF, R.; EDDY, J. (1985) Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Ed Labor, Barcelona.
- MOORE, E (1970) "Furrow irrigation of lettuce resulting in water and nitrogen loss". J.A.M: Soc. Hort. S:C:I: 95.
- MOPU (1981) "La vigilancia de la contaminación fluvial. Tratamiento de datos de control analítico". Serv. Publ. MOPU.
- RAMALHO, R. (1983) Introduction to wastewater treatment process. Academic Press.
- RUSSELL, E. (1964) Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. Ed. Aguilar, Madrid.
- SEOANEZ CALVO, M. (1978) Aprovechamiento y tratamiento agrario de las aguas residuales urbanas. Col. Monograf. INIA nº 25. MAPA.
- SORBER, C. (1976) "A study of bacterial aerosols at a wastewater irrigation site". Jour. WPCF, Vol 48 nº 10, Oct. 1976.
- VILLARO, F (1981) "Contaminación de las aguas subterráneas por actividades industriales. El problema de los residuos industriales". Jorn. Anal. Evol. Contam. de aguas subterráneas en España. T-I: 291-330, Barcelona.