

ÍNDICE

<i>Prólogo</i>	15
----------------------	----

Tema 1

CALIDAD Y PROPIEDADES DEL AGUA

Introducción.....	21
1.1. Tipos de aguas por su composición y origen.....	22
1.1.1. <i>Agua atmosférica</i>	22
1.1.2. <i>Aguas continentales</i>	23
1.1.3. <i>Aguas marinas</i>	25
1.1.4. <i>Compuestos inorgánicos en el agua superficial</i>	26
1.2. Propiedades del agua.....	29
1.2.1. <i>Propiedades ácido base</i>	29
Sistema bicarbonato-carbonato	30
Soluciones tampón.....	34
1.2.2. <i>Reacciones de precipitación</i>	35
1.2.2.1. Dureza del agua.....	35
1.2.2.2. Carbonato cálcico disuelto a saturación en agua destilada.....	36
1.2.2.3. Carbonato cálcico disuelto a saturación en agua destilada en contacto con la atmósfera.....	39
1.2.2.4. Estabilidad del agua	41
1.2.2.5. Eliminación de la dureza del agua.....	43
1.2.2.6. Aplicación	44
1.2.3. <i>Propiedades red-ox. Oxidación-reducción del agua y de compuestos disueltos en agua</i>	48
1.2.3.1. Oxidación-reducción de hierro (II-III)	52
1.2.3.2. Oxidación reducción de Mn (II-IV).....	55
1.2.3.3. Presencia de H ₂ S en el agua	56
1.2.3.4. Derivados de nitrógeno	57

1.2.4. Acciones debidas a cationes de Al, Fe, Mn y sus compuestos hidroxilados	58
1.2.5. Reacciones de complejación, fotoquímicas y de hidrólisis	70
1.2.5.1. Procesos de complejación	70
1.2.5.2. Reacciones fotoquímicas	71
1.2.5.3. Reacciones de hidrólisis	74
1.3. Biodegradación en medio acuoso	75
1.4. Medio marino. Propiedades	75
1.4.1. Propiedades del medio marino	77
1.4.2. Compuestos inorgánicos y orgánicos presentes	79
1.4.3. Gases disueltos	80
1.4.4. Presencia de N ₂ y de CO ₂ -O ₂ . Implicaciones en la actividad biológica	82
1.5. Apéndice	85
Ejercicios de autoevaluación	90

Tema 2

TRATAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE AGUA

Introducción	95
2.1. Calidad de las aguas	95
2.2. Tratamiento de aguas para consumo urbano	100
2.3. Depuración de aguas residuales de origen urbano	101
2.3.1. Pretratamiento	101
2.3.2. Tratamiento primario	101
2.3.3. Tratamiento secundario, biológico, del agua residual	104
2.3.4. Instalaciones para el tratamiento biológico aerobio	111
2.3.5. Consideraciones de diseño en un reactor biológico aerobio de fangos	116
2.3.6. Instalaciones para el tratamiento biológico anaerobio	123
2.4. Tratamiento de lodos	124
2.4.1. Operaciones sobre el fango	125
2.4.2. Tratamientos térmicos	127
2.4.3. Diseño de horno de secado	133
2.4.4. Tratamiento a alta temperatura	135
2.4.5. Compostaje	139
2.5. Tratamientos terciarios	143
2.5.1. Eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo	144

2.5.2. <i>Eliminación de material orgánico no biodegradable</i>	147
2.5.3. <i>Eliminación de material inorgánico soluble. Deionización</i> ..	148
2.5.4. <i>Desinfección del agua</i>	151
2.6. Tratamiento de aguas residuales industriales	154
Ejercicios de autoevaluación	159

Tema 3

GESTIÓN DE AGUAS

Introducción	163
3.1. Ciclo hidrológico	163
3.2. Gestión en una cuenca	164
3.2.1. <i>Consumo de agua</i>	167
3.2.2. <i>Características en España de los recursos y del consumo</i>	169
3.2.3. <i>Recursos hídricos</i>	169
3.3. Captación del agua de lluvia	171
3.3.1. <i>Captación de las precipitaciones</i>	171
3.3.2. <i>Fuentes de contaminación difusa</i>	174
3.3.3. <i>Gestión de agua de lluvia en zonas urbanas</i>	177
3.4. Características de las precipitaciones	178
3.4.1. <i>Intensidad</i>	178
3.4.2. <i>Escorrentía superficial</i>	179
3.4.3. <i>Cuencas</i>	180
3.4.4. <i>Hidrogramas</i>	181
3.5. Comportamientos de precipitaciones intensas y puntuales. Olas de inundación	188
3.5.1. <i>Almacenamiento y transmisión del flujo</i>	188
3.5.2. <i>Embalses</i>	193
3.5.3. <i>Canales</i>	195
3.5.4. <i>Captación en redes urbanas</i>	197
3.5.5. <i>Acuíferos como elemento de almacenamiento y transporte</i> ...	200
3.6. Tratamiento y reutilización de aguas de procedencia industrial y de procedencia urbana	208
3.6.1. <i>Uso para riego</i>	210
3.6.2. <i>Reutilización industrial del agua depurada</i>	212
3.6.3. <i>Recarga de acuíferos</i>	214
3.7. Desalación del agua de mar. Técnicas	217
3.7.1. <i>Procesos de destilación</i>	217

3.7.2. <i>Cristalización</i>	222
3.7.3. <i>Proceso de electrodiálisis</i>	223
3.8. Proceso de ósmosis inversa	224
3.8.1. <i>Flujos a través de la membrana</i>	225
3.8.2. <i>Pretratamiento</i>	230
3.8.3. <i>Acondicionamiento del agua desalada</i>	231
3.8.4. <i>Problemática en la toma de aguas y en la emisión de salmueras</i>	232
3.9. Traslados frente a desalación.....	233
3.9.1. <i>Consideraciones</i>	233
3.9.2. <i>Traslado frente a desalación</i>	235
3.9.3. <i>Traslados. Algo de historia</i>	237
3.9.4. <i>Traslados en España</i>	239
3.9.5. <i>Desalación en España</i>	242
Ejercicios de autoevaluación	245

Tema 4

SUELOS: FORMACIÓN, CONSTITUYENTES, PROPIEDADES

4.1. Suelo-Horizontes	251
4.2. Formación del suelo	252
4.2.1. <i>Factores que intervienen</i>	252
4.2.2. <i>Procesos de formación del suelo</i>	253
4.3. Erosión y degradación del suelo	254
4.3.1. <i>Factores de la erosión</i>	256
4.3.2. <i>Modelos para predecir la pérdida de suelo</i>	260
4.4. Fases del suelo. Constituyentes	262
4.4.1. <i>Fases</i>	262
4.4.2. <i>Minerales</i>	262
4.4.3. <i>Materia orgánica</i>	271
4.4.4. <i>Agua edáfica. Iones presentes</i>	273
4.4.5. <i>Nutrientes</i>	277
4.4.6. <i>Aire edáfico</i>	283
4.5. Propiedades físicas del suelo	284
4.5.1. <i>Granulometría. Tamaño de partícula, distribución</i>	284
4.5.2. <i>Textura</i>	285
4.5.3. <i>Porosidad</i>	288
4.5.4. <i>Flujo de aire y agua en el suelo</i>	288

4.6. Interacción fase mineral-fase acuosa.....	290
4.6.1. <i>Coloides. Potencial zeta</i>	290
4.6.2. <i>Adsorción, naturaleza, propiedades, consecuencias</i>	294
4.6.3. <i>Adsorción química</i>	295
4.6.4. <i>Adsorción física. Intercambio iónico</i>	302
Ejercicios de autoevaluación	306

Tema 5

CONTAMINACIÓN DEL SUELO. ORIGEN E INCIDENCIA

Introducción.....	313
5.1. Contaminantes inorgánicos: metales.....	313
5.2. Contaminantes orgánicos	317
5.2.1. <i>Degradación de la materia orgánica</i>	320
5.3. Características de acidez-alcalinidad.....	322
5.3.1. <i>Acidez, basicidad del suelo</i>	322
5.3.2. <i>Sucesos que afectan a la acidez del suelo</i>	325
5.3.3. <i>Consecuencias de la acidez del suelo</i>	329
5.3.4. <i>Tratamiento a suelos ácidos</i>	329
5.4. Degradación del suelo por acumulación de sales.....	330
5.4.1. <i>Causas de la salinidad y consecuencias</i>	330
5.4.2. <i>Medida de la salinidad</i>	331
5.4.3. <i>Acción sobre los suelos salinos</i>	333
Ejercicios de autoevaluación	335

Tema 6

REMEDIACIÓN DE SUELOS.

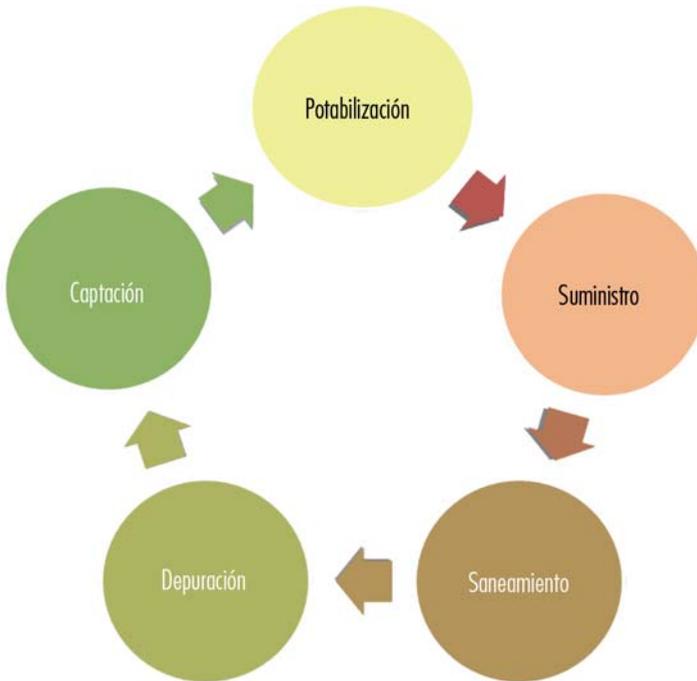
TRATAMIENTO A SUELOS CONTAMINADOS

Introducción.....	339
6.1. El confinamiento y la estabilización para la gestión de suelos	341
6.1.1. <i>Aislamiento</i>	342
6.1.2. <i>Sellado</i>	343
6.1.3. <i>Solidificación</i>	344
6.1.4. <i>Vitrificación</i>	344
6.2. Procesos térmicos.....	345
6.3. Tratamientos químicos.....	348

6.4. Tratamiento de suelos por extracción	350
6.4.1. Aireación	350
6.4.2. Arrastre	351
6.4.3. Lavado	354
6.4.4. Arrastre de compuestos orgánicos mediante una corriente de aire	356
6.4.5. Arrastre de compuestos orgánicos mediante una corriente de vapor de agua	358
6.4.6. Separación por destilación de los productos arrastrados	362
6.5. Tratamiento de suelos por electrorremediación	365
6.5.1. Descripción	365
6.5.2. Fundamentos	368
6.5.3. Procesos implicados	370
6.5.4. Reacciones en los electrodos	371
6.5.5. Consideraciones de diseño	374
6.6. Tratamientos biológicos de recuperación de suelos	376
6.6.1. Acción de los microorganismos, sobre compuestos orgánicos	376
6.6.2. Acción de los microorganismos sobre metales, movilizar e inmovilizar	379
6.6.3. Técnicas de tratamiento biológico	380
6.6.4. Fitorrecuperación	382
Ejercicios de autoevaluación	384
Glosario	387
Bibliografía	395
Solucionario	399

3.2.1. Consumo de agua

El consumo de agua se puede dividir en tres grandes bloques: el primero es agua para la agricultura, el segundo el agua de uso público, y dentro de este capítulo el agua de uso en los hogares y de uso comunitario (jardines, limpieza, extinción de incendios), y por último el agua de uso industrial. Los datos sobre el consumo en España, de acuerdo a los datos de INE, Estadísticas e Indicadores de Agua 1/2008:



INE. Estadística e indicadores de agua 2008².

Figura 3.3. Ciclo integral del agua utilizada en el uso doméstico.

El agua suministrada en red tiene otros consumos además de los domésticos, los de uso público (riego, limpieza, incendio). El consumo por habitante/año está influenciado por el tipo de vivienda más frecuente, por el tamaño de la comunidad, nivel económico, así como los picos de consumo máximo y mínimo en el día. Los usos domésticos alcanzan una media de 160 L/habitante/día. Hay que tener en cuenta además las pérdidas por fugas que pueden estar sobre un 17 por ciento del caudal suministrado. La diferencia en-

tre agua suministrada (consumo) y agua utilizada (medida por contador) da idea del porcentaje en fugas, si bien hay servicios públicos no contabilizados por no medir su consumo. En cuanto al riego de jardines, puede considerarse en esta partida si se realiza con agua de la red doméstica o en la partida de agricultura si se emplea de otras fuentes. La estimación del agua se realiza sobre agua suministrada, agua en alcantarilla, agua de lluvia, agua de industrias tomada de fuentes independientes, infiltraciones.

Del agua captada y suministrada, el 65,6% tiene su origen en aguas superficiales, el 31% subterráneas, y el 3,4% desaladas (cantidad algo mayor en la actualidad). La tendencia es incentivar el ahorro individual y el ahorro tecnológico con la posibilidad de reutilización interna. El agua reutilizada es aún una cantidad pequeña.

El sector agrario es el gran consumidor de agua sólo en regadío 16.000 Hm³/año. El porcentaje usado según métodos es: riego por aspersión 21,5%, por goteo 33,2%, por gravedad 45,3%. El regadío se realiza mayoritariamente por el método de inundación, es menor la superficie regada por el método de goteo o similar. Esto supone una gran pérdida de agua y más si se considera las pérdidas en la conducción por acequias y canales degradados. El consumo de agua en ganadería, aún siendo importante, es mucho menor y aumenta la importancia del uso en acuicultura 3.000 Hm³ utilizados, no gastados. En cuanto a su origen 79,7 aguas superficiales, 19,0 subterráneas, 1,3 otros recursos.

Sector industrial es el más parco en gasto, utiliza unos 400 Hm³ de agua en red y unos 1.400 Hm³ de agua captada en pozos; en este cómputo no se tiene en cuenta la industria energética y el agua utilizada en enfriamiento en grandes industrias. Bien entendido que se consiguen estos consumos porque se regenera y reutiliza las aguas residuales y tiene un volumen de retornos elevado. La industria alimenticia es, sin duda, la que tiene un índice de retorno menor, la industria de envasado de agua requiere casi dos litros por litro embotellado. La industria química tiene un volumen de gasto muy elevado pero retorna más del 80 por ciento.

Producción de energía. Interviene directamente en la producción de energía hidroeléctrica a partir del agua embalsada (18% del total de energía producida). Pero también interviene como elemento secundario en la producción de energía termoeléctrica, donde se utiliza vapor como medio de transmisión de energía desde el combustible (carbón, petróleo, nuclear) a la

turbina. Toda mejora tecnológica en este campo redundará en un beneficio en el aprovechamiento energético y en la disminución de la pérdida de agua. El uso de las centrales de ciclo combinado disminuye el requerimiento de agua.

En la actividad minera la extracción del mineral, separación de mena y ganga, concentración de la mena y el resto de operaciones, precisan de un caudal elevado por m³ de mineral tratado, sin embargo, el mayor problema reside en eliminar los compuestos minerales arrastrados en las corrientes del tratamiento y evitar la percolación de efluentes, con una gran carga metálica, hacia acuíferos.

3.2.2. Características en España de los recursos y del consumo

La característica principal es la diversidad, diversidad del aporte de agua de lluvia en el espacio y en el tiempo, diversidad de la distribución de la población agolpada en las costas insulares o peninsulares y en algunos enclaves del interior, diversidad por la importante población ocasional debida al turismo.

En cuanto al consumo hay que subrayar la necesidad de aumentar el regadío para aumentar la producción agrícola en cantidad y en obtención de productos de mayor precio. Sin entrar en mayor profundidad, sí cabe mencionar el desfase del binomio producción/consumo.

En cuanto a la administración pública del agua, además de velar por satisfacer el consumo, se ve solicitada por problemáticas de tipo:

- Cuestiones medioambientales.
- Protección de ecosistemas.
- Protección de humedales.
- Problemas de sequías e inundaciones.

Las actuaciones tienen las vertientes de política hidráulica, política agraria y política económica con un gran condicionamiento sociopolítico.

3.2.3. Recursos hídricos

Se conoce como cuenca a un entorno geográfico delimitado, de tal modo que el agua de lluvia que recibe se acumula en el mismo y el exceso

se dirige a un único punto de transporte, hacia otro río, lago, pantano, el mar. La masa de agua de la cuenca proviene pues:

- De las precipitaciones directas, sean de lluvia, granizo o nieve.
- Del transporte de agua de otras zonas mediante corrientes fluviales y de la capa freática.

La entrada de agua, es decir la pluviosidad en la Península, tomada como media, de 1969/70 a 2005/2006, es de 665 mm, datos del informe hídrico del Ministerio de Medioambiente (año 2007).

Según el INE, sería la precipitación total de 346.000 Hm³/año, la evapotranspiración de 235.000 Hm³/año y su diferencia 111.133, el agua disponible.

Del agua disponible, en parte, se retiene en el suelo, se infiltra, se acumula en los *acuíferos* y en parte se traslada, se mueve, *escorrentía*.

La retención de agua de *escorrentía* se produce en el entorno de la cuenca:

- En cisternas y depósitos de viviendas.
- En balsas y estanques de tormenta.
- En pantanos, esta agua proviene de corrientes fluviales y del subsuelo.
- En lagos naturales.

Una corriente a considerar es aquella procedente de agua ya utilizada en usos urbanos e industriales que se devuelve, de un modo u otro, a la cuenca. Agua rehusada.

Cuando los recursos hídricos son insuficientes para el consumo de dicha cuenca hay dos opciones:

- Aumentar el ahorro de agua y el rehusado.
- Conseguir agua por un trasvase desde otra cuenca no deficitaria o por desalación de agua de mar o de aguas salobres interiores.

En las salidas, además de la citada evapotranspiración, hay que considerar el agua evaporada desde las masas de agua libre, el caudal vertido a otras cuencas o devuelto al mar por los diversos ríos, acuíferos y agua que

se lixivia a los acuíferos. Es cada vez más importante el caudal de salmueras residuo de los procesos de desalación.

En cuanto a la retención hay que considerar el agua embalsada (o mejor la variación en la masa de agua embalsada) y la que permanece en los acuíferos.

3.3. CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

3.3.1. Captación de las precipitaciones

Elementos de recogida. Ya que las precipitaciones son la base de la entrada de aguas en una cuenca hay que reflexionar sobre la necesidad de captación de dicha lluvia. En el país, la media de precipitaciones es de unos 600 L/año, si bien su distribución es muy diversa, es evidente que en las zonas en las que la pluviosidad es mayor que el consumo, la acción será diferente a la aconsejada en zonas en las que la pluviosidad se podría calificar de deficiente o de no excesiva respecto al consumo. Es necesaria la construcción de infraestructuras hidráulicas para recoger, almacenar, transportar y distribuir el agua de una cuenca. Hay que tener en cuenta el tipo de precipitaciones que se dan en la cuenca: poco frecuentes, ocasionales, durante periodos del año, tormentosas, continuas, ya que de ello depende la cantidad de agua que se infiltra y la cantidad de agua que se pierde en escorrentía, amén de la pequeña porción que se introduce en la red de alcantarillado en los núcleos urbanos. Otra variable a tener en cuenta es si en la cuenca se halla asentada una población con actividades preferentemente agrícolas-ganaderas o es una zona de gran asentamiento urbano.

Recogida

- En construcciones: hogares, almacenes, grandes superficies comerciales, se puede canalizar hacia depósitos contiguos.
- En terrenos agrícolas: estanques de recogida, balsas. En zonas urbanas: estanques de tormentas.
- Embalses.
- Captaciones de acuíferos.

En este entramado se sitúan tanto las grandes centrales eléctricas a pie de presa como las pequeñas centrales sobre una represa.