

EL CARBON ACTIVADO EN PLANTAS POTABILIZADORAS MUNICIPALES

Los contaminantes orgánicos en el agua

Los contaminantes orgánicos presentes en el agua pueden clasificarse en tres grupos:

- A) MATERIA ORGANICA NATURAL (MON). Son moléculas provenientes del metabolismo de los seres vivos, incluyendo vegetales y animales.
- B) QUIMICOS ORGANICOS SINTETICOS (QOS's). Estos compuestos son aquellos que ha desarrollado el hombre, principalmente a lo largo del último siglo. La mayoría de ellos son derivados del petróleo. En este grupo también se incluyen los pesticidas, que se producen en enormes cantidades.
- C) SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCION (SPD's). Los principales métodos de desinfección de agua que se va a destinar al consumo humano, consisten en la adición de un químico que aniquila los microorganismos. Entre estos químicos se encuentra el cloro, el ozono, las cloraminas, el dióxido de cloro, etc. Por un lado, estos compuestos sanitizan el agua, pero por otro, reaccionan con la MON, y con los QOS's, formando otros compuestos más complejos, que constituyen los SPD's. En la Tabla 1 se muestran algunos de los principales SPD's presentes en el agua.

La MON ha estado presente en el agua desde que inició la vida en el planeta. Por lo tanto, el ser humano, en su proceso de evolución de dos millones de años, se ha adaptado a este tipo de compuestos. Es decir, la MON, en las concentraciones típicas en las que se encuentra en el agua, tanto superficial como subterránea, no representa un riesgo para la salud del hombre.

Sin embargo, los QOS's y los SPD's son relativamente recientes, y son causa de problemas en la salud aún en las muy bajas concentraciones en las que se encuentran. A partir de la década de los 80's, la Organización Mundial de la Salud ha encontrado las siguientes evidencias (Ref. 4):

1. Prácticamente ya no existe fuente de abastecimiento libre de QOS's y/o de SPD's. Entre dichas fuentes se incluyen las aguas superficiales y las aguas subterráneas más profundas.
2. La concentración típica de los QOS's y de los SPD's es del orden de partes por millón o partes por billón. A dichas concentraciones, estos compuestos generan enfermedades a largo plazo -del orden de años. Las enfermedades mencionadas incluyen diversos tipos de cáncer, daños en hígado, páncreas, riñones y pulmones, entre otros (Ref. 7).

Debido a lo anterior, en las últimas décadas, las normas de agua potable de los países industrializados se han hecho mucho más estrictas. Como un ejemplo de ellas, está la norma norteamericana que en 1993 contemplaba 66 compuestos orgánicos cuya concentración quedaba limitada a los valores máximos permisibles que se muestran en la Tabla 2. Actualmente, la norma norteamericana ya incluye a más de 100 contaminantes orgánicos.

México no ha sido la excepción, por lo que publicó una nueva norma de agua potable, la NOM-127-SSA1-1994, que aplica desde enero de 1996, y que es mucho más estricta que las anteriores. Esta norma, incluye 34 contaminantes o grupos de contaminantes químicos. Entre ellos, 11 son de tipo orgánico. En la Tabla 3 se muestra el listado de estos compuestos.

La peligrosidad de los QOS's y de los SPD's hacen palpable que las normas de agua potable se irán haciendo cada vez más rigurosas e irán incluyendo un mayor de contaminantes regulados.

El papel del carbón activado en el cumplimiento de las normas de agua potable

Tanto la norma norteamericana como la mexicana, además de listar los compuestos regulados y sus concentraciones máximas permitidas, señalan las mejores metodologías de tratamiento disponibles. Por mejores se entiende tanto la viabilidad técnica como la económica.

En la Tabla 2 se muestra que la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) el carbón activado es la mejor tecnología disponible para controlar 63 de los 66 contaminantes orgánicos regulados. También hay que señalar que 23 compuestos de los 63 anteriores, también pueden controlarse por medio de aereación.

En la Tabla 3 se observa que de los 11 contaminantes regulados por la norma mexicana, que son de tipo orgánico, todos ellos se retienen con carbón activado.

Lo anterior permite concluir que el carbón activado es un adsorbente universal de compuestos orgánicos. Es decir, retiene prácticamente toda la gama de compuestos orgánicos disueltos en el agua.

Uso actual de carbón activado en plantas potabilizadoras municipales

Ya que el carbón activado es la mejor tecnología disponible para la retención de QOS's y SPD's, actualmente es casi imprescindible el uso de este adsorbente en las plantas potabilizadoras municipales

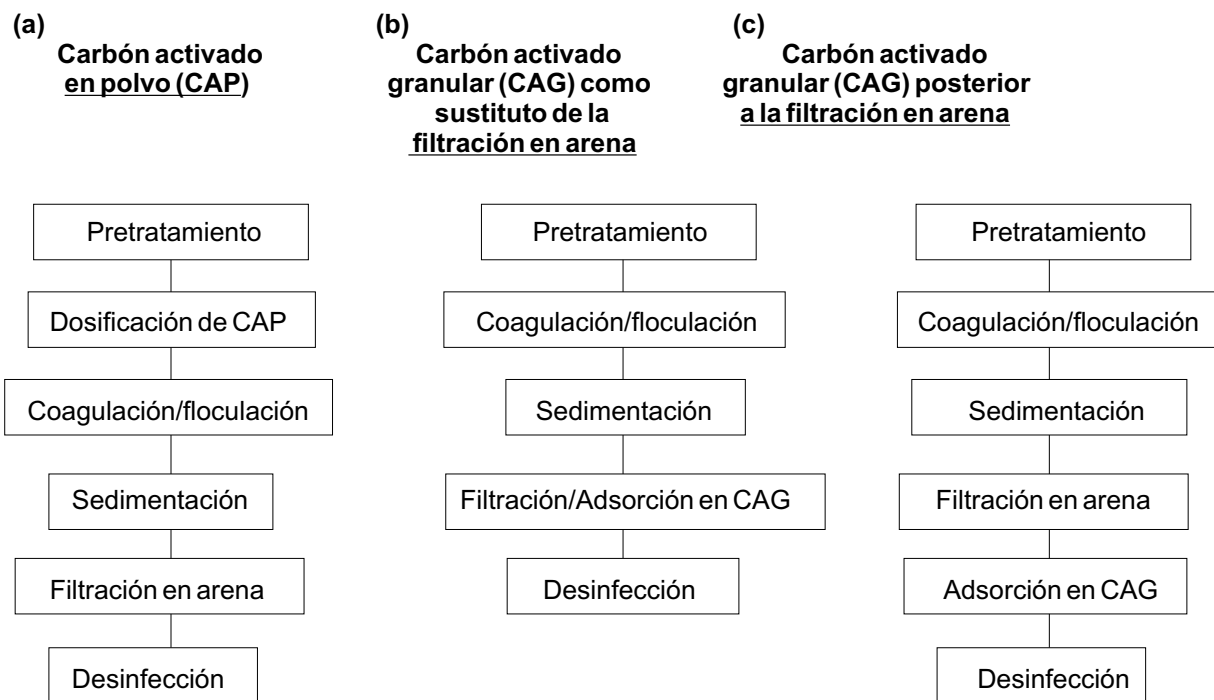
Europa es la región del mundo en la que existe mayor experiencia en el uso del carbón activado en la potabilización del agua y asimismo es también la región en la que el uso de esta metodología se incrementa en mayor ritmo. Sin embargo, en E.U.A. está en plena expansión la aplicación del carbón activado con miras a cumplir con las últimas modificaciones a la norma de agua potable además de la eliminación de olores y sabores.

La utilización del carbón activado en la potabilización de agua es un proceso conocido, experimentado y de dominio internacional. Existe una enorme experiencia en su utilización así como una extensa bibliografía al respecto. El diseño de plantas o equipos en la actualidad se realiza con base en los parámetros que dicha experiencia ha arrojado, sin necesidad de pruebas para cada caso particular.

Los países en desarrollo cada vez utilizan más el carbón activado en el tratamiento de agua ya que también sus normas de agua potable se van haciendo más estrictas, especialmente en cuanto al control de compuestos orgánicos sintéticos.

En México, la norma de agua potable se hizo más estricta apenas en 1995 tendiéndose a parecer a aquellas que prevalecen en países desarrollados. El consumo del carbón activado es aún muy limitado, pero es indudable que su utilización es indispensable, especialmente si se tiene conciencia de que la norma obedece a la necesidad de preservar la salud de la población.

Etapas de tratamiento de agua potable en plantas que utilizan carbón activado



En el diagrama (a) se puede observar que la adición del carbón activado en polvo (CAP) se realiza antes de la de los agentes coagulantes y floculantes, con una anticipación de entre 3 y 20 minutos. El carbón sedimenta de manera eficiente en la etapa posterior, por la acción de los mismos agentes.

El diagrama (b) muestra el caso en el que el carbón activado granular (CAG) sustituye a la arena en los filtros de plantas convencionales, sin la necesidad de modificar las instalaciones. La granulometría y la altura de las camas de carbón es la misma que se tendría en camas de arena. Los filtros pasan a realizar una función de filtro/adsorbedor, ya que el CAG lleva a cabo ambas tareas.

Las plantas municipales que han sustituido las camas de arena por camas de CAG, han obtenido resultados casi tan eficientes como aquellas que han instalado camas de CAG posteriores a las camas de arena -diagrama (c).

En el diagrama (c), la función del CAG es únicamente la de adsorbedor. En este caso, se requieren instalaciones adicionales a las de una planta que no utiliza carbón activado, y se justifica cuando se encuentra conveniente el diseñar los adsorbedores con camas de carbón relativamente altas, para aumentar el tiempo de vida útil entre una y otra reactivación.

En cuanto a la reactivación, el carbón activado granular es totalmente regenerable. No así el carbón activado en polvo, ya que su manejo es sumamente complicado.

La reactivación permite reutilizar el carbón a un costo muy inferior respecto al de un carbón virgen. Esto hace que este tipo de carbón sea más rentable que el polvo.

El carbón activado en el control de olor y sabor del agua potable

El uso del carbón activado ha sido muy común durante los últimos cincuenta años en el control de olor y sabor.

En muchas ocasiones el problema de olores y sabores es temporal, por lo que se puede utilizar el carbón activado en polvo (CAP). Cuando el problema es persistente (superior a 1.5 - 2 meses al año) el carbón activado granular (CAG) resulta más rentable.

Las ventajas del CAP radican en que éste solo se aplica cuando surge el problema de contaminación, y en que únicamente se dosifica la cantidad mínima necesaria para retener el contaminante en cuestión. Sin embargo es necesario hacer un análisis detallado del costo de esta forma de aplicación ya que suele ser relativamente alto en relación al volumen de agua tratado.

Las ventajas del CAG radican en su facilidad de uso después de instalado, ya que no se requiere equipo de almacenamiento y dosificación, pero principalmente por que trata el agua de manera continua -independientemente de las fluctuaciones de los niveles de los contaminantes- y a que es posible su reactivación, situaciones por las que el costo por volumen de agua tratada resulta relativamente bajo.

El tiempo de vida útil del CAG, entre una reactivación y otra, puede estar entre seis meses y cinco años, siendo lo más común entre dos y tres años. Las pérdidas de carbón -por rompimiento y gasificación - durante el proceso de reactivación son de un 10 a 15% para el caso del carbón activado de concha de coco, y mayores para el caso de carbones de origen mineral.

En los casos en que se usa la reactivación para disminuir los costos, es necesario tomar en consideración que el carbón de concha de coco tiene las características más adecuadas ya que por su dureza es el único que puede resistir un indeterminado número de reactivaciones.

Tabla 1

Subproductos que pueden generarse durante la desinfección del agua**Posibles subproductos generados en la cloración**

Ácidos haloacéticos :

- Ácido dicloroacético
- Ácido monocloroacético
- Ácido tricloroacético
- Dicloroacetoniitrilo
- Haloacetoniitrilos
- Tricloroacetoniitrilo

Halocetonas :

- 1,1-Dicloropropanona
- 1,1,1-Tricloropropanona

Trihalometanos :

- Bromodiclorometano
- Cloroformo
- Clorometano
- Dibromoclorometano
- Diclorometano
- Tetracloruro de carbono

Clorofenoles :

- 2-Clorofenol
- 2,4-Diclorofenol
- 2,4,6-Triclorofenol

Otros :

- Ácido monocarboxílico
- Ácidos aromáticos carboxílicos halogenados
- Ácidos dicarboxílicos
- Alcanos clorados
- Aldehídos clorados
- Bencenos clorados
- Cloraminas inorgánicas
- Cloropicrina
- Cloruro de cianógeno
- Epóxidos
- Hidrato cloral
- MX (3-Cloro, 4-diclorometil, 5-hidroxi, 2(5H)-furanona)
- N-Organocloraminas
- Propanoniitrilos halogenados
- Tolueno clorado
- Tri (2-Cloroetil) fosfato
- Xileno clorado

Posibles subproductos generados en la ozonización

Orgánicos :

- Ácidos orgánicos
- Alcoholes
- Aldehídos (formaldehído, acetaldehído, hexanal y heptanal)
- Cetonas
- Compuestos bromuro sustituidos
- Epóxidos
- Hidrocarburos
- Nitroaminas
- N-oxi compuestos
- Peróxidos
- Quinonas

Inorgánicos :

- Bromato
- Clorato
- Peróxido de hidrógeno
- Yodato

Posibles subproductos generados en la cloraminación

- Ácidos aldónicos
- Ácidos haloacéticos
- Aldehídos
- Cloraminas inorgánicas
- Compuestos N-Organoclorados
- Quinonas

Posibles supproductos generados en la desinfección con dióxido de cloro

- Ácidos carboxílicos
- Aldehídos clorados y no clorados
- Cetonas
- Clorato
- Clorito
- Clorofenoles
- Compuestos aromáticos clorados
- Epoxi-compuestos
- Quinonas cloradas y no cloradas

NOTA : los subproductos formados en la desinfección con ozono, cloraminas y dióxido de cloro, no se han investigado tan extensamente como los producidos en la cloración.

Tabla 2

**Mejores tecnologías de tratamiento disponibles,
reconocidas por la EPA para cumplir con las regulaciones
de agua potable en Estados Unidos (1993)**

Contaminante	MNMC, mg/l (Nota 1)	NMC, mg/l (Nota 2)	Método de tratamiento
Acido 2,4-diclorofenoxiacético	0.07	0.07	Carbón activado
Acrilamida	cero	0.0005**	Adición de polímeros
Adipatos (dietilhexil)	0.5	0.5	Carbón activado Aereación
Alaclor	cero	0.002	Carbón activado
Aldicarb	0.001	0.003	Carbón activado
Aldicarb sulfonio	0.001	0.002	Carbón activado
Aldicarb sulfóxido	0.001	0.004	Carbón activado
Atrazina	0.003	0.003	Carbón activado
Benceno	cero	0.005	Carbón activado Aereación
Benzo(a)antraceno (PAH)	cero*	0.0001*	Carbón activado
Benzo(a)pireno (PAH)	cero	0.0002	Carbón activado
Benzo(b)fluoroanteno (PAH)	cero*	0.0002*	Carbón activado
Benzo(k)fluoroanteno (PAH)	cero*	0.0002*	Carbón activado
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Carbón activado
Butil bencil ftalato (PAE)	cero*	0.1*	Carbón activado
Carbofurano	0.04	0.4	Carbón activado
Clordano	cero	0.002	Carbón activado
Cloruro de vinilo	cero	0.002	Aereación
Criseno (PAH)	cero*	0.0002*	Carbón activado
2, 4 D	0.07	0.07	Carbón activado
Dalapón	0.2	0.2	Carbón activado
Di(2-etilhexil)adipato	0.4	0.4	Carbón activado
Dibenzo(a,h)antraceno (PAH)	cero*	0.0003*	Carbón activado
Dibromocloropropano (DBCP)	cero	0.0003	Carbón activado Aereación
Dibromuro de etileno (DBE)	cero	0.00005	Carbón activado Aereación
Diclorobenceno (orto)	0.6	0.6	Carbón activado Aereación
Diclorobenceno (meta)	0.6	0.6	Carbón activado Aereación
Diclorobenceno (para)	0.075	0.075	Carbón activado Aereación
Dicloroetano (1,2-)	cero	0.005	Carbón activado Aereación
Dicloroetileno (1,1-)	0.007	0.007	Carbón activado Aereación
Dicloroetileno (cis-1,2-)	0.07	0.07	Carbón activado Aereación
Dicloroetileno (trans-1,2-)	0.1	0.1	Carbón activado Aereación
Diclorometano (cloruro de metileno)	cero	0.005	Carbón activado
Dicloropropano (1,2-)	cero	0.005	Carbón activado Aereación
Dietilhexil ftalato (PAE)	cero	0.006	Carbón activado
Dinoseb	0.007	0.007	Carbón activado
Dioxín (2,3,7,8-TCDD)	cero	0.00000003	Carbón activado
Diquat	0.02	0.02	Carbón activado
Endotal	0.1	0.1	Carbón activado
Endrín	0.002	0.002	Carbón activado
Epiclorohidrina	cero	0.002**	Adición de polímeros
Epóxido de heptacloro	cero	0.0002	Carbón activado
Estireno	0.1	0.1	Carbón activado Aereación
Etilbenceno	0.7	0.7	Carbón activado Aereación
Glifosato	0.7	0.7	Carbón activado
Heptacloro	cero	0.0004	Carbón activado
Hexaclorobenceno	cero	0.001	Carbón activado
Hexaclorociclopentadieno	0.05	0.05	Carbón activado Aereación
Indeno (1,2,3-c,d)pireno (PAH)	cero*	0.0004*	Carbón activado
Lindano	0.0002	0.0002	Carbón activado
Metoxicloro	0.04	0.04	Carbón activado
Menoclorobenceno	0.1	0.1	Carbón activado
Oxamil	0.2	0.2	Carbón activado
Pentaclorofenol	cero	0.001	Carbón activado
Picloram	0.5	0.5	Carbón activado

Nota 1 : Meta de nivel máximo de contaminantes establecidos en un valor en el cual se sabe que no habrá efectos adversos a la salud de las personas, y el cual provee un margen adecuado de seguridad.

Nota 2 : Nivel máximo de contaminantes establecido lo más cercano posible a los MNMC tomando en consideración costos y técnicas de tratamientos aplicables a sistemas de agua potable.

* Nivel propuesto

** Nivel de acción

Tabla 3

**Límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano,
y tratamientos para cumplirlos, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994**

Los tratamientos listados son aquellos que reconoce la norma NOM-127-SSA1-1994, para cumplir con los límites permisibles de calidad del agua. Esta norma se publicó en la ciudad de México, en el Diario Oficial de la Federación del 18 de enero de 1996.

Características bacteriológicas	Límite permisible	Tratamientos
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml	Cloro, compuestos de cloro, ozono, luz ultravioleta
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml	Igual que el anterior

NMP : número más probable

UFC : unidades formadoras de colonias -técnica de filtración por membrana

Características físicas y organolépticas	Límite permisible	Tratamientos
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.	Coagulación-floculación-precipitación-filtración ; cualquiera o la combinación de ellos ; carbón activado ; oxidación
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores)	Igual que el anterior
Turbiedad	5 UTN o su equivalente en otro método	Igual que el anterior

UTN : unidades de turbiedad nefelométricas

Características químicas	Límite permisible (mg/l)	Tratamientos
Aluminio	0.20	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Arsénico	0.05	C-F-S-F: cualquiera o la combinación de ellos; intercambio iónico u ósmosis inversa
Bario	0.70	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Cadmio	0.005	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Cianuros (como CN ⁻)	0.07	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Cloro libre residual	0.20 - 1.50	CA
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00	Intercambio iónico, ósmosis inversa, destilación
Cobre	2.00	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Cromo total	0.05	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00	Ablandamiento químico, intercambio iónico
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001	CA, oxidación con ozono
Fierro	0.30	Oxidación-filtración, intercambio iónico, ósmosis inversa
Fluoruros (como F ⁻)	1.50	ósmosis inversa, coagulación química
Manganeso	0.15	Oxidación-filtración, intercambio iónico, ósmosis inversa
Mercurio	0.001	Proceso convencional : C-S-P-F cuando se tengan 10 microgramos/l. Procesos especiales : CAG y ósmosis inversa, cuando se tengan hasta 10 microgramos/l ; CAP cuando se tengan más de 10 microgramos/l
Nitratos (como N)	10.00	Intercambio iónico, C-F-S-F: cualquiera o la combinación de ellos
Nitritos (como N)	0.050	Igual que el anterior
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50	C-F-S-F, desgasificación, desorción en columna
pH (en unidades de pH)		Neutralización
Plomo	6.5 - 8.5	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Sodio	0.025	Intercambio iónico
Sólidos disueltos totales	200.00	C-F-S-F, intercambio iónico
Sulfatos (como SO ₄ ⁻²)	1000.00	Intercambio iónico, ósmosis inversa
Sustancias activas al azul	400.00	CA

PLAGUICIDAS	(microgramos/l)	Tratamientos
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03	CAG
Clordano (total de isómeros)	0.30	CAG
DDT (total de isómeros)	1.00	CAG
Gamma-HCH (lindano)	2.00	CAG
Hexaclorobenceno	0.01	CAG
Heptacloro y hepóxido de heptacloro	0.03	CAG
Metoxicloro	20.00	CAG
2,4-D	50.00	CAG

C-F-S-F: coagulación-floculación-sedimentación-filtración

CA: adsorción en carbón activado

CAG: adsorción en carbón activado granular

CAP: adsorción en carbón activado en polvo

Características radiactivas	Límite permisible (Becquerel/l)
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

Referencias

- *Water Quality Association* : "Recognized treatment techniques for meeting the national primary drinking water regulations with de application of point-of-use systems", USA, 1993
- *Secretaría de Salud* : "Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamiento a que deber someterse el agua para su potabilización", Diario Oficial de la Federación, Jueves 18 de enero de 1996.
- *Roskill Information Services, Ltd.*: THE ECONOMICS OF ACTIVATED CARBON, 5ª Ed. Londres, 1994.
- *Clark, R. y B.W. Lykins, Jr.*: GRANULAR ACTIVATED CARBON, DESIGN, OPERATION AND COST, Lewis, Michigan, 1991
- *Westerhoff, G.P., H. Arora y G. Cline*: "The roles of GAC in drinking water treatment", documento técnico impreso por Malcolm Prinie, Inc., White Plains, N. Y.
- *AWWA Research Foundation*: DESIGN AND USE OF GRANULAR ACTIVATED CARBON - PRACTICAL ASPECTS, Denver, 1989
- *Meier, J.R. y D.F. Bishop*: "Evaluation of conventional treatment processes for removal of mutagenic activity from municipal wastewaters", Journal Water Pollution Control Federation, Octubre de 1985, pp. 999-1005
- *Sontheimer, H., J.C. Crittenden y S. Summer*: ACTIVATED CARBON FOR WATER TREATMENT, AWWA Research Foundation, Denver, 1988
- *AWWA* : ENGINEERING CONSIDERATIONS FOR GAC TREATMENT FACILITIES, Denver, 1990
- *AWWA*: GRANULAR ACTIVATED CARBON INSTALLATIONS: CONCEPTION TO OPERATION, Denver, 1987
- *AWWA* : ACTIVATED CARBON IN DRINKING WATER TECHNOLOGY, Denver, 1983
- *AWWA Research Foundation*: IDENTIFICATION AND TREATMENT OF TASTES AND ODORS IN DRINKING WATER, Denver, 1987
- *AWWA Research Foundation*: CONTROL OF ORGANIC COMPOUNDS WITH POWDERED ACTIVATED CARBON, Denver, 1991
- *AWWA Research Foundation*: OCCURENCE AND REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC CHEMICALS FROM DRINKING WATER, Denver, 1983