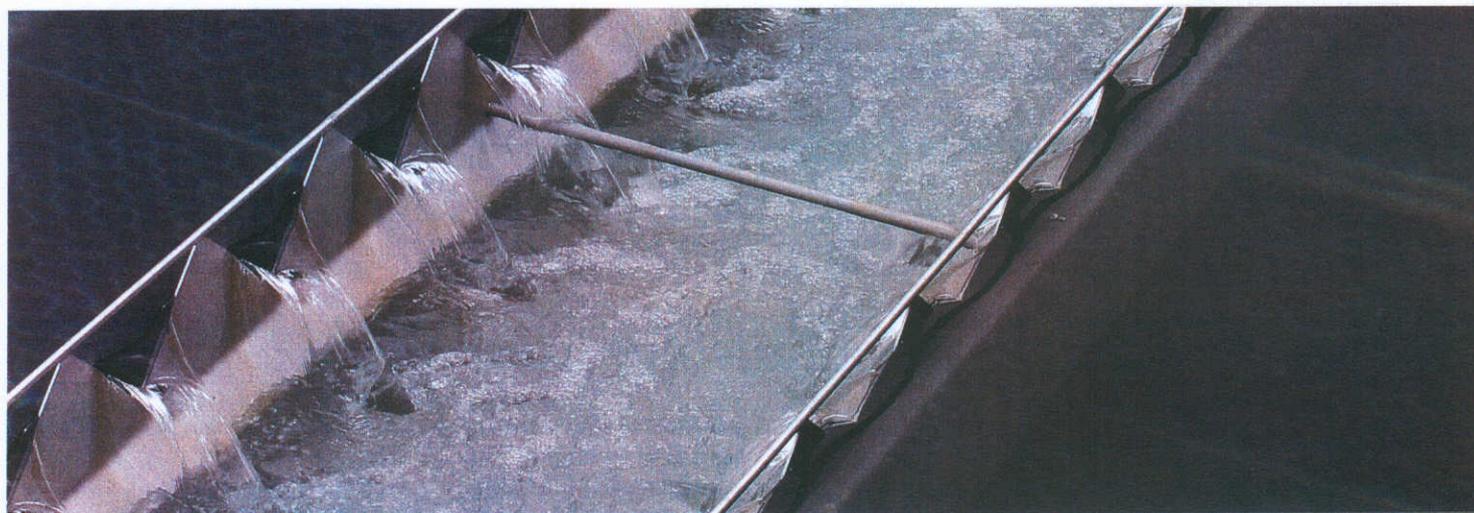




Eliminación de compuestos fitosanitarios en abastecimientos de agua de Andalucía con tecnologías de carbón activo

Rafael Marín Galvín

Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente
Empresa Municipal de Aguas de Córdoba



RESUMEN

Dado su potencial toxicológico la eventual presencia de fitosanitarios en un agua de consumo presenta especial incidencia. No obstante, la normativa estatal para aguas potables no explicita con suficiente claridad las sustancias plaguicidas a controlar, dejando el desarrollo práctico de esta cuestión a las CC.AA. En Andalucía, el seguimiento de los plaguicidas o fitosanitarios toma relevancia singular por el amplio uso de estos

compuestos en las explotaciones agrícolas, lo cual posibilita su acceso, primero al medio hídrico en general, y por ende, al circuito de las aguas de consumo. Por ello las indicaciones dimanadas desde la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía desde 2.005 y las posteriores recogidas en el Decreto 70/2009 andaluz sobre aguas de consumo regulan cómo se lucha en la C.A. contra la eventual aparición de fitosanitarios en las aguas potables de la región: aparte de fijar las sustancias concre-

tas sometidas a seguimiento periódico, se implantó en su momento la obligatoriedad para abastecimientos de más de 20.000 h de contar con tecnologías específicas, tipo carbón activo y otras de contrastada eficacia para, llegado el caso, minimizar la presencia de fitosanitarios en las aguas potables andaluzas. Este artículo presenta la evolución del tema en los últimos cinco años y es fruto de los trabajos llevados a cabo por el Grupo de Trabajo de Calidad del Agua de la Asociación de Abasteci-



mientos de Agua y Saneamientos de Andalucía (ASA).

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a los últimos datos disponibles (AEAS) la dotación media de agua potable en España se sitúa en algo menos de 230 litros/habitante y día, habiéndose reducido notoriamente desde los años noventa del siglo pasado (>300 litros/habitante y día). De esta dotación media, la distribución aceptada para los usos en el hogar (Figura 1) sólo cuantifica en un entorno de 2 a 4 litros el consumo directo diario realizado por el ciudadano en bebida y alimentación.

La normativa sectorial en materia de aguas de consumo en nuestro país se fundamenta en el conocido Real Decreto 140/2003 que establece en su Anexo I los criterios de calidad que ha de cumplir el agua potable clasificados como parámetros microbiológicos, químicos, indicadores y radiactividad, así como sus valores paramétricos admisibles en un agua potable.

Con respecto a los plaguicidas, se incluyen dentro de los parámetros químicos adscribiéndole un valor paramétrico para el total en un agua de 0,5 µg/L, y un valor por plaguicida individual de 0,1 µg/L. Además, para cuatro compuestos concretos, aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloro epóxido, se fija un valor paramétrico más bajo, de 0,03 µg/L.

Dada la indefinición del tema, en el Anexo I del RD 140/2003 se indica que "Las Comunidades Autónomas velarán para que se adopten las medidas necesarias para poner a dis-

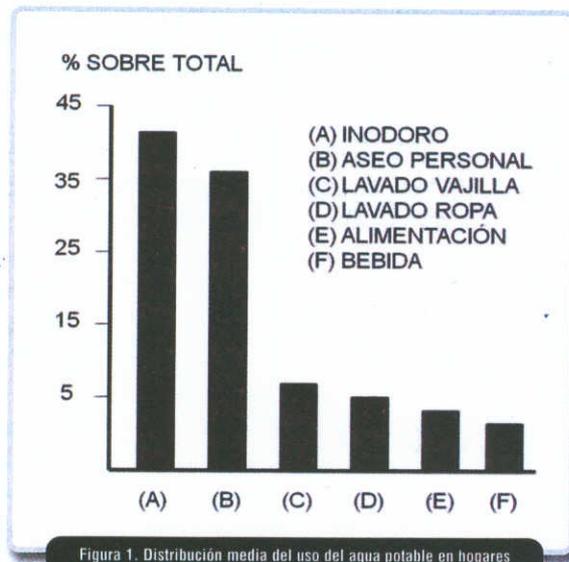


Figura 1. Distribución media del uso del agua potable en hogares

posición de la autoridad sanitaria y de los gestores del abastecimiento el listado de plaguicidas fitosanitarios utilizados mayoritariamente en cada una de las campañas contra plagas del campo y que puedan estar presentes en los recursos hídricos susceptibles de ser utilizados para la producción de agua de consumo humano."

En todo caso, para calificar a un agua como salubre y limpia (es decir, potable) han de cumplirse los valores paramétricos referidos en los párrafos anteriores para los plaguicidas potencialmente presentes en un agua de consumo.

SEGUIMIENTO DE FITOSANITARIOS EN ANDALUCÍA

La Organización Mundial de la Salud define como producto fitosanitario o plaguicida a aquella sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir la acción de, o destruir directamente, insectos (insecticidas), ácaros (acaricidas), moluscos (molusquicidas), roedores (rodenticidas), hongos (fungicidas), malas hierbas

(herbicidas), bacterias (antibióticos y bactericidas) y otras formas de vida animal o vegetal perjudiciales para la salud pública y también para la agricultura (es decir, considerados como plagas y por tanto susceptibles de ser combatidos con plaguicidas); la actividad plaguicida también se extiende a la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de productos agrícolas y sus derivados. Entre los productos fitosanitarios se incluyen también los defoliantes, desecantes y las sustancias reguladoras del crecimiento vegetal o fitoreguladores.

En Andalucía el uso de fitosanitarios es muy importante por el gran peso del sector agrícola en la C.A. Desde aquí, el acceso de restos de fitosanitarios hacia los cauces públicos mediante lluvias, escorrentías, lixiviación, deposición seca, o incluso accidentes ocasionales, representa un notable factor de riesgo puesto que los cauces públicos son precisamente las fuentes de captación del agua prepotable para la producción de agua de consumo humano.

La presencia de fitosanitarios en el agua potable, en determinados niveles, puede ocasionar problemas sanitarios al consumidor habitual por la potencial acción toxicológica de estas sustancias. Por ello, su concentración en las aguas potables ha sido limitada históricamente. Así, la Administración andaluza ha prestado especial atención a la potencial ocurrencia y aparición de fitosanitarios en las aguas de la C.A., intentando limitar estos episodios así como poner los medios para que, caso de producirse, se cuente con los medios técni-



Tabla 1. Listado de productos fitosanitarios utilizados en las cuencas de los embalses de abastecimiento de Andalucía (2005)

Captación	Cultivos predominantes	Provincia	Materias activas
Embalse del Almanzora	Frutales, herbáceos, cítricos	Almería	Pendimetalina, glifosato, oxifluorfen
Embalse de Benimar	Frutales, herbáceos, cítricos, olivar	Almería	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Guadalcaçin	Herbáceos	Cádiz	Metamikona, trifluralina, MCPA
Embalse de los Hurones	Herbáceos, olivar	Cádiz	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Sierra Boyera	Herbáceos	Córdoba	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Bembézar	Herbáceos, olivar	Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Martín Gonzalo	Olivar	Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Puente Nuevo	Herbáceos, olivar	Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de S.R. Navallana	Herbáceos, olivar	Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Canales	Frutales	Granada	Pendimetalina, terbutilazina, diurón
Embalse de Cubillas	Herbáceos, olivar	Granada	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Bermejales	Frutales, olivar	Granada	Pendimetalina, terbutilazina, diurón
Embalse de Iznájar	Olivar, herbáceos, viñedo	Granada, Córdoba, Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Jarama	Herbáceos	Huelva	Clodinafop propagil, MCPA
Embalse Los Machos	Herbáceos, cultivos protegidos, frutales, cítricos	Huelva	Pendimetalina, glifosato, oxifluorfen
Embalse El Corumbel	Olivar, herbáceos	Huelva	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Beas	Olivar, herbáceos	Huelva	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Cadoncillo	Olivar	Huelva	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Encinasola	Olivar	Huelva	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse La Coronada	Olivar, herbáceos	Huelva	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Piedras	Olivar, herbáceos, cítricos	Huelva	Terbutilazina, diurón, oxifluorfen
Embalse El Sancho	Herbáceos, cítricos	Huelva	Terbutilazina, diurón, oxifluorfen
Embalse del Chanza	Olivar, herbáceos	Huelva	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Aguascebas	Herbáceos	Jaén	Clodinafop propagil, MCPA
Embalse La Bolera	Herbáceos	Jaén	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Guadalmena	Herbáceos, olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Viboras	Olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Zocueca	Olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Dañador	Olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Guadalén	Herbáceos, olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Quiebrajano	Olivar	Jaén	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Yeguas	Olivar	Jaén, Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse Conde de Guadalhorce	Herbáceos, olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Casasola	Herbáceos, olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Cerro Blanco	Olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de la Viñuela	Herbáceos, olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de Pílonas	Olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de La Concepción	Olivar	Málaga	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de El Limonero	Herbáceos, olivar, frutales	Málaga	Terbutilazina, diurón, pentadimetalina
Embalse Guadalorce-Guadalteba	Herbáceos, olivar, frutales	Málaga	Terbutilazina, diurón, pentadimetalina
Embalse del Gergal	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse José Torán	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, clodinafop propagil
Embalse de Cala	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse de la Minilla	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Agrio	Olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Huesna	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, glifosato
Contraembalse Pintado	Herbáceos, olivar	Sevilla	Terbutilazina, diurón, glifosato
Embalse del Retortillo	Herbáceos, olivar	Sevilla, Córdoba	Terbutilazina, diurón, glifosato



Eliminación de fitosanitarios con carbón activo

cos idóneos a fin de minimizar o reducir su aparición subsiguiente en las aguas potables.

Continuando el tema, en los años iniciales de esta centuria se detectaron episodios puntuales de aparición de fitosanitarios en aguas naturales de la C.A. andaluza, en los embalses de Peñafior (Sevilla, 2.000), embalse del Chanza (Huelva, 2.002) e Iznájar (Córdoba, 2.002), concretamente de los herbicidas triazínicos simazina y terbutilazina, muy empleados en el sector olivarero. Estos episodios generaron preocupación social (no justificada por los bajos niveles detectados en las aguas afectadas) y provocaron acciones inmediatas de

los abastecedores andaluces para eliminar estos compuestos desde las aguas que los contenían.

Refiérase asimismo que la simazina fue prohibida en la UE de forma general en 2.002, y que el uso de terbutilazina también fue prohibido temporalmente en 2.005 en España. No obstante, la persistencia de estos compuestos hace que su acceso a los medios acuáticos se perpetúe tiempo después de que dejen de aplicarse regularmente en las prácticas agrícolas.

En este mismo sentido, con la publicación del RD 140/2003, la preocupación por los fitosanitarios se intensifi-

có, tanto en España como particularmente en Andalucía. Aquí, la colaboración entre la Administración autonómica y los abastecedores se plasmó en un documento, el denominado Programa de Vigilancia Sanitaria y Calidad del agua de consumo humano en Andalucía de 2.005 que complementaba y desarrollaba el referido RD estatal.

En relación a los fitosanitarios, el Anexo 8 del referido Programa de Vigilancia Sanitaria explicitaba el listado de materias activas de productos fitosanitarios utilizados en los cultivos agrícolas de mayor importancia, en cada cuenca de los embalses de abastecimiento de la región (Tabla 1). Puede observarse que los productos



Basta con tiempos de inactividad demasiado largos y costosos.

- Se detectan las complicaciones antes de que los grandes problemas surjan.
- La manutención es sencilla, rápida y eficaz.



Woolpit Road • Rattlesden • Suffolk • Reino Unido
Tel: +44 (0) 1449 736777
www.pioneerpump.co.uk/es/





Tabla 2. Fitosanitarios de control mensual en aguas brutas del abastecimiento de aguas de Córdoba

Ametrina	Atrazina	Diurón	Glifosato
MCPA	Oxifluorfen	Prometrina	Propazina
Simazina	Terbutilazina	Terbutrina	

más frecuentemente empleados eran: *terbutilazina, diurón, glifosato, oxifluorfen y clodinafop propagil*.

Por otro lado, según el RD 140/2003, la Administración hidráulica debería periódicamente suministrar datos de fitosanitarios en fuentes de captación, tanto a la Administración sanitaria como a los abastecedores (artículo 6). Esta situación ha presentado importantes déficits por lo que el seguimiento de fitosanitarios se lleva a cabo por los abastecedores andaluces como forma de optimizar la seguridad sanitaria en la producción de agua de consumo, lo cual supone costes técnicos y económicos asumidos íntegramente por los abastecedores hasta hoy. Como ejemplo, la Tabla 2 presenta los fitosanitarios controlados mensualmente en un gran abastecimiento de Andalucía a indicación de la Autoridad sanitaria y a cargo totalmente del gestor del abastecimiento.

La preocupación histórica por parte de la Administración sanitaria andaluza, de la mano de los abastecedores

(reunidos en la Asociación de Abastecimientos de Agua y Saneamientos de Andalucía-ASA) para dedicar esfuerzos al tema de los fitosanitarios, experimentó un nuevo impulso con la publicación del Decreto 70/2009 de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía. Aquí, aparte de confirmar la responsabilidad de la Administración hidráulica en el control de captaciones de aguas brutas destinadas a potabilización (artículo 26, control muy deficiente cuando no inexistente, por otro lado) en su Disposición transitoria primera se indica:

"Adaptación de potabilización del agua destinada al consumo humano. Todas aquellas personas o entidades gestoras responsables de los procesos de potabilización de abastecimientos que suministren agua a una población estable superior a 20.000 habitantes, en los que se haya detectado la presencia de plaguicidas fitosanitarios según lo dispuesto en el artículo 14.9 del Reglamento aprobado por el presente Decreto, dispondrán de un plazo de tres años para instalar el sistema de filtración

con carbón activo granular, u otras tecnologías contrastadas de eficacia similar, salvo que la Consejería competente en materia de salud, ante situaciones extraordinarias en las que se estime que pueda existir un riesgo para la salud de la población abastecida, establezca el carácter urgente de esta adaptación en abastecimientos concretos."

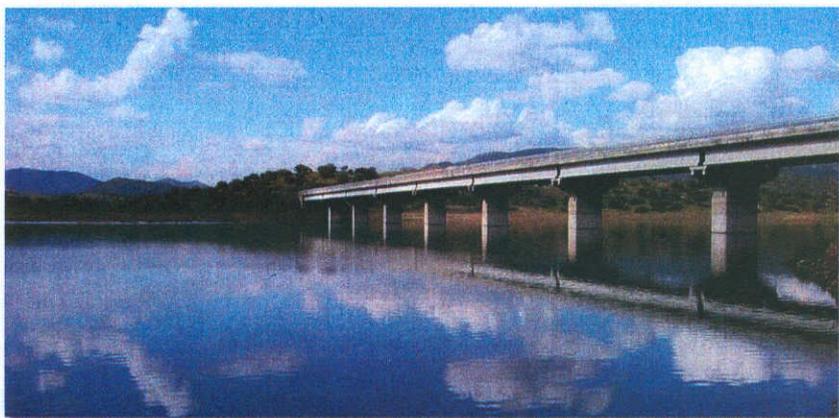
Posteriormente, el Decreto 70/2009 vuelve sobre el tema, indicando (sic) en su artículo 14.9:

"Sin perjuicio de lo dispuesto en el apartado anterior, en abastecimientos en los que se detecte la presencia de plaguicidas fitosanitarios en el agua destinada a producción de agua de consumo humano, los procesos de potabilización deberán disponer de tratamientos con carbón activo, u otras tecnologías contrastadas, que permitan su eliminación o su reducción en el agua potabilizada hasta los valores establecidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero. Si el abastecimiento suministra agua a una población estable superior a veinte mil habitantes, este tratamiento deberá realizarse mediante el sistema de filtración con carbón activo granular, u otras tecnologías contrastadas de eficacia similar".

En este sentido, el Decreto 70/2009 estableció incluso la obligatoriedad, en un plazo dado, de equipar los grandes abastecimientos andaluces con tecnologías capaces de atacar con eficacia las puntas de fitosanitarios que periódica u ocasionalmente pudieran detectarse.

BREVE INTRODUCCIÓN: ADSORCIÓN, ADSORBENTES Y CARBÓN ACTIVO

La adsorción, propiedad de algu-





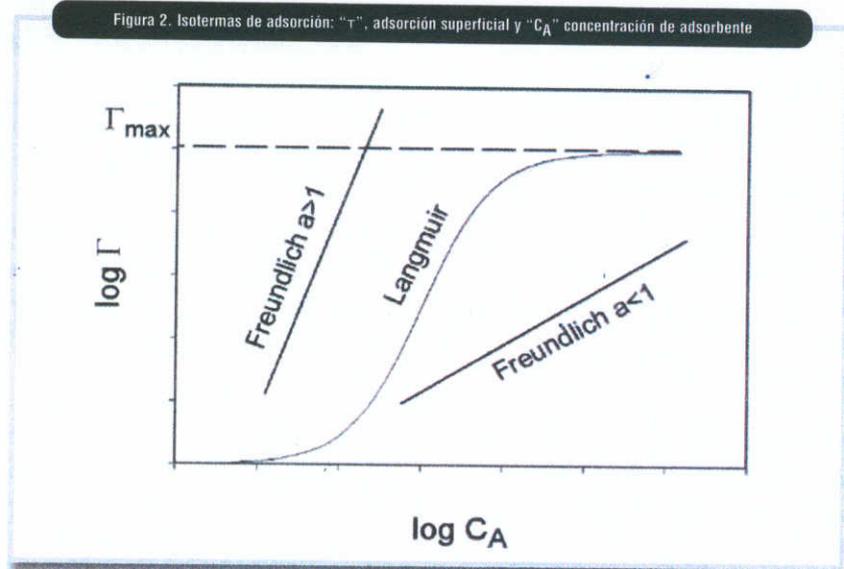
nos materiales de fijar en su superficie moléculas extraídas de la fase líquida o gaseosa en contacto con ellos, es un fenómeno de transferencia de masa que depende de la propia capacidad adsorbente de la sustancia concreta y de la concentración de la impureza a adsorber. La adsorción de sustancias sobre un material adsorbente se produce a través de tres mecanismos básicos:

- Mediante fijación por fuerzas de Van Der Waals.
- Mediante absorción química entre grupos de diferente polaridad.
- Mediante acción biológica debida al crecimiento bacteriano sobre el lecho adsorbente.

Con relación al carbón activo (adsorbente general en tratamiento de aguas) es un material inerte provisto de una estructura reticulada con una red densa de poros cuyos diámetros varían entre 10 Å y 2.000 Å. Esta disposición hace que el carbón presente una muy elevada superficie de adsorción (de 750 a 1.500 m²/g) sobre muchas sustancias.

En una estructura porosa carbonada coexisten tres tipos de poros: microporos, inferiores a 20 Å y que adsorben gases; mesoporos, entre 20 Å y 40 Å y que se retienen microcontaminantes, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, clorofenoles, y otras sustancias abundantes en las aguas superficiales moderadamente contaminadas; finalmente, macroporos, mayores de 500 Å y con propiedades decolorantes al poder retener moléculas de alto peso molecular.

Para una fase líquida (en nuestro caso, agua) la afinidad de una impureza dada por el adsorbente responde a una relación matemática entre la cantidad de impureza adsorbida y



la cantidad de impureza restante en el agua. Mediante ensayos de laboratorio a una temperatura dada se obtienen las denominadas "isotermas de adsorción" que explican en la práctica la actividad de cada adsorbente sobre cada sustancia específica que se quiere adsorber.

Las isotermas de adsorción pueden responder a tres esquemas básicos, que en el caso del carbón activo son (Figura 2):

• Isoterma de Langmuir

$$[1 / (x/m)] = (1/b) + [1 / (a \cdot b \cdot C)]$$

siendo "a" y "b" dos constantes, "m" la masa de carbón activo utilizada, "x" la cantidad de impurezas adsorbidas y "C" la concentración final de impurezas una vez alcanzado el equilibrio. Representando "C/(x/m)" frente a "C" se obtendría una línea recta.

• Isoterma de Freundlich

$$\log (x/m) = \log K + [(1/n) \cdot \log C]$$

siendo "n" y "K" dos constantes, tí-

picas de cada proceso adsorbente concreto y "x" y "m" la cantidad de impurezas adsorbidas y la masa de carbón empleada, respectivamente. Si se representa gráficamente "log (x/m)" frente a "log C" se obtendría una línea recta.

• Isoterma de Brunauer-Emmet-Teller

$$(x, m) = [A \cdot C \cdot x_0] / [(C_S - C) \cdot [1 + (A - 1) \cdot (C_S - C)]]$$

siendo en este caso "x₀" la masa de impurezas adsorbidas en una primera capa adsorbente de material, "C_S" la concentración de impurezas en la fase de saturación, y los demás parámetros son los ya comentados más arriba. Si se representa "C/[C_S-C)•(x/m)" frente a "C/C_S" se obtendrá asimismo una línea recta.

Utilidad del empleo de carbón activo en eliminación de fitosanitarios

El proceso adsorbente por carbón activo puede ponerse en práctica de dos formas: mediante la dosificación del adsorbente al agua a tratar (pre-

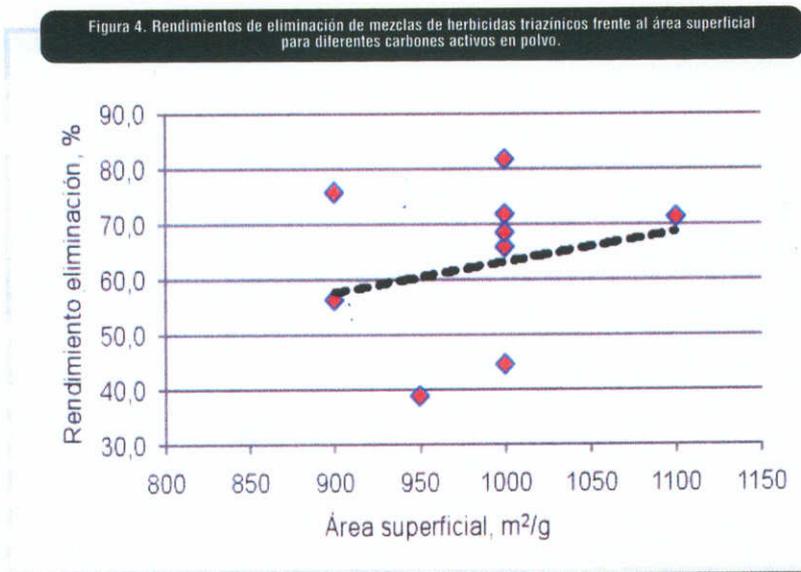


viamente suspendido en agua auxiliar de proceso), o en unión de un proceso filtrante. En este segundo caso las unidades de filtración-adsorción se podrían rellenar bien sólo con el adsorbente o bien con éste en unión de otros productos (por ejemplo, arena silíceo) conjugando las ventajas de la filtración y de la adsorción.

En todo caso, existe abundante bibliografía que reseña el rendimiento obtenido en la descontaminación de aguas ricas en diferentes compuestos orgánicos de síntesis, materia orgánica en general, color, compuestos fitosanitarios e incluso metales pesados mediante carbón activo. Algunas de las más significativas se comentan a continuación.

Eliminación de propazina, prometryna y prometón

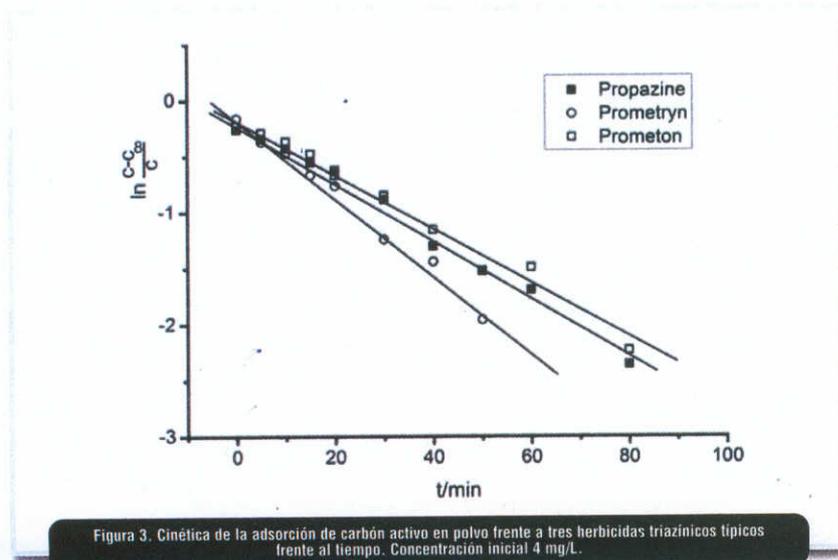
La Figura 3 presenta el comportamiento adsorbente del carbón activo frente al tiempo de reacción para aguas fortificadas con concentraciones muy elevadas de los fitosanitarios triazínicos propazina, prometryna y prometón. Se observa que el



proceso adsorbente es lineal, lo que implica que ante eventualidades de aparición de fitosanitarios con concentraciones elevadas y superiores a 1 mg/L en el agua de origen (concentración muy superior a la de los medios naturales) procediendo a incrementar el tiempo de reacción lo haría la capacidad adsorbente del sistema.

Las isotermas de adsorción disponibles en bibliografía indican que diferentes carbonos activos eliminan

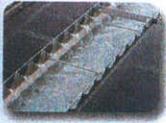
entre 0,46-0,78 mg/L de fitosanitario triazínico por cada mg/L de carbón activo dosificado, en un tiempo de 1 hora, que es el tiempo de retención hidráulico habitual para las estaciones de tratamiento de aguas. De los datos anteriores se infiere que con dosis de carbón activo 10 mg/L, se garantizaría la eliminación de cantidades de propazina de 6,6 mg/L en el peor de los casos estudiados. Esta misma consideración podría formularse para los casos de los otros herbicidas estudiados, como son prometryna y prometón.



Eliminación de atrazina

Los primeros estudios disponibles en bibliografía indicaron que el carbón activo era capaz de reducir la concentración inicial de atrazina (fitosanitario triazínico) desde valores del orden de 0,5 mg/L hasta residuales comprendidos entre 0,05-0,09 µg/L, cumpliendo con lo establecido en la normativa de contenidos de plaguicidas en aguas tratadas inferiores a 0,1 µg/L.

Estos resultados coinciden esencialmente con otros posteriores que



concluyeron que cada mg de atrazina podría ser adsorbido por dosis de unos 20 mg/L de carbón, dependiendo del tipo concreto de producto empleado y tipo de agua investigada. La variación del rendimiento de eliminación de mezclas de herbicidas triazínicos con diferentes carbones activos, se recoge en la Figura 4.

Eliminación de diurón

Otros estudios disponibles en bibliografía sobre adsorción de diurón (fitosanitario del grupo de los carbamatos) indicaron que se requerían del orden de 15 mg/L de carbón activo para conseguir la eliminación total de 1 mg/L del fitosanitario (residual $<0,10 \mu\text{g/L}$). También los resultados podían mejorarse en función del carbón activo comercial concreto empleado, como se ha comentado más arriba.

Eliminación de simetrina

En este caso, los estudios llevados a cabo demostraron la eliminación de cantidades del orden de 4 mg/L de simetrina aplicando dosis de 10 mg/L de carbón activo.

Eliminación de DDT, aldrín y dieldrín

Si bien el uso del DDT (insecticida organoclorado) se encuentra prohibido desde hace varias décadas, la bibliografía presenta resultados de eliminación del producto en aguas contaminadas desde dosis tan bajas como 5 mg/L.

Por su parte, en los casos de aldrín y dieldrín se logran rendimientos eficaces (residual $<0,03 \mu\text{g/L}$) empleando dosis desde 10 mg/L.

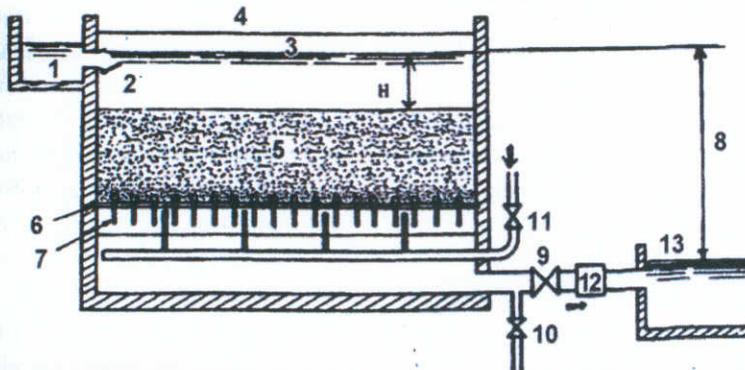
Eliminación de endosulfán

En este caso, se ha informado de la eliminación con carbón activo de hasta un 95% de endosulfán en aguas fortificadas con 1 mg/L de este plaguicida organoclorado.

Como resumen de todo lo comentado, con dosis a partir de 20 mg/L de carbón activo se ha logrado la eliminación práctica de mezclas de fitosanitarios diversos.

En todos los estudios referenciados, se identifica la eliminación de fitosanitario a conseguir concentraciones residuales inferiores a $0,1 \mu\text{g/L}$ (o de $0,03 \mu\text{g/L}$, para aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloro epóxido) que es el nivel imperativo recogido en la normativa aplicable (RD 140/2003 y Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía).

Figura-5. Esquema de un filtro CAG y fotografías de unidades reales: (1) entrada agua a tratar; (5) lecho de CAG; (13) agua tratada.



Tecnologías industriales de empleo de carbón activo en las ETAP

Existen dos tecnologías contrastadas que emplean carbón activo a escala industrial. La tecnología GAC, o de filtración sobre lecho de carbón activo granular, y la tecnología CAP, o de dosificación de carbón activo en polvo. En ambos casos se trata de procesos de adsorción inespecífica.

Con respecto a la tecnología CAG se emplea carbón activo en forma granular, producto que está validado dentro de la Orden SSI/304/2013 (BOE 50 de 27-2-2013) sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo. La identificación del reactivo tiene un nº CAS nº 7440-44-0, debiendo el suministrador acreditar que sus características cumplen con las normas de calidad



Figura 6. Instalaciones para dosificación de CAP: izqda., silos, y dcha., sistema dosificación

UNE-EN ISO 12915-1 y UNE-EN ISO 12915-2.

Como información adicional, los filtros de CAG (ver Figura 5) muestran un progresivo agotamiento de su capacidad adsorbente con el tiempo, estando afectado su rendimiento (que es alto) por la turbidez y el contenido en desinfectante del agua. De todas formas se trata de una tecnología aplicada en continuo y que, paralelamente, también puede ser útil para la reducción del contenido en trihalometanos del agua.

Las ETAP con tecnología CAG aplican en general la siguiente línea de proceso:

- Dosificación en cabecera de CAP ante emergencias.
- Preoxidación del agua bruta: en función de calidad, cloro, ClO_2 , KMNO_4 , aire u ozono.
- Ajuste de pH opcional, normalmente con NaOH o Ca(OH)_2 .
- Dosificación de coagulante y/o ayudante de floculación (con sales de aluminio).
- Decantación-sedimentación.
- Filtración a través de filtros de arena.
- Filtración a través de filtros de CAG (o filtros mixtos).

- Ajuste opcional de pH en agua tratada, con los reactivos indicados más arriba.
- Desinfección final, con cloro, ClO_2 o cloraminas.

Con respecto a la tecnología de dosificación de CAP se emplea carbón activo en polvo, producto que está asimismo validado dentro de la Orden SSI/304/2013 (BOE 50 de 27-2-2013) sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo. La identificación del reactivo tiene un nº CAS nº 7440-44-0, debiendo el suministrador acreditar que sus características cumplen con la norma de calidad UNE-EN ISO 12903.

Como información adicional, se trata de una tecnología bajo demanda y la capacidad de adsorción del reactivo está en función de las dosis empleadas, no experimentándose procesos de agotamiento del proceso adsorbente. La aplicación del CAP es vía acuosa lográndose rendimientos globales altos y utilizándose, además de instalación primaria para eliminación de fitosanitarios, como sistema de apoyo puntual a las instalaciones GAC. La Figura 6 muestra unas instalaciones para dosificación de CAP actualmente operativas.

Las ETAP con tecnología CAP aplican en general la siguiente línea de proceso:

- Dosificación en cabecera de carbón activo en polvo.
- Preoxidación del agua bruta: en función de calidad, cloro, ClO_2 , KMNO_4 , aire u ozono.
- Ajuste de pH opcional, normalmente con NaOH o Ca(OH)_2 .
- Dosificación de coagulante y/o ayudante de floculación (con sales de aluminio).
- Decantación del agua.
- Filtración del agua a través de filtros de arena.
- Ajuste opcional de pH en agua tratada, con los reactivos indicados más arriba.
- Desinfección final del agua, con cloro, ClO_2 o cloraminas.

SITUACIÓN ACTUAL DEL EMPLEO DE CARBÓN ACTIVO EN ANDALUCÍA

Para valorar la situación de los gestores de grandes abastecimientos de Andalucía (>20.000 habitantes servidos) en relación al cumplimiento de lo establecido por el Decreto 70/2009 de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía, ASA ha elaborado un censo de las instalaciones equipadas con carbón activo en cualquiera de sus dos tecnologías operativas (CAG o CAP) existentes actualmente en la CA.

Con respecto a las estaciones de potabilización que han instalado filtración sobre CAG, existen tres ETAP, dos en la provincia de Sevilla y 1 en la de Huelva. Además, todas las instalaciones disponen de dosificación con CAP como medida de emergencia: El esquema de tratamiento aplicado responde al recogido en el apartado 3.2.



Por otro lado, se cuenta con un total de 13 ETAP equipadas con dosificación de CAP operativa, distribuidas entre las provincias de Córdoba (4), Jaén (2), Málaga (1), Cádiz (3), Granada (1), Almería (1) y Sevilla (1). El esquema de tratamiento aplicado también responde al recogido en el apartado 3.2. En estas instalaciones equipadas con carbón en polvo se ha recabado información sobre el empleo y los resultados prácticos logrados con la tecnología de dosificación de CAP desde 2.009 (fecha de publicación del Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía) hasta el presente.

Los datos recogidos indican que tan sólo existe una ETAP en que la dosificación de CAP sea en continuo, logrando en todo momento la conformidad del agua tratada de acuerdo a lo establecido por el RD 140/2003.

Hay ocho ETAP que han registrado episodios de aparición de fitosanitarios en aguas brutas de diversa duración temporal (desde 1 día hasta 2-3 meses): en concreto, 87 episodios desde 2.009 hasta la fecha, los cuáles han requerido la inmediata puesta en marcha del CAP (las de CAG funcionan en continuo) logrando cumplir en todas las ocasiones con lo

establecido por el RD 140/2003.

Para acabar este aspecto, en cuatro de las ETAP con tecnología CAP disponible (un 25% sobre el total de ETAP equipadas, bien con CAG bien con CAP) no ha sido necesario el empleo de sus instalaciones al no haberse detectado desde 2.009 hasta la fecha ningún evento ocasional de aparición de fitosanitarios en aguas brutas.

Haciendo un resumen de las ETAP andaluzas de más de 20.000 h equipadas con una u otra tecnología, se concluye que existen un total de 16 estaciones, ubicadas en todas las provincias de las cuáles 3, es decir un 19%, optaron por la tecnología del CAG, siendo la opción mayoritaria con un 81%, las que optaron por la tecnología del CAP. Además, es indicativo señalar que todas las ETAP equipadas con filtración sobre CAG disponen de sistema para dosificación con CAP como instalación de emergencia.

En resumen, las dos tecnologías con carbón activo implantadas y operativas consiguen habitualmente el cumplimiento de lo exigido sobre niveles paramétricos de compuestos



fitosanitarios en el agua de consumo de Andalucía (<0,1 µg/L por compuesto plaguicida individual, y <0,5 µg/L para el total de plaguicidas, además de <0,03 µg/L para aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloro epóxido) con lo que las aguas de consumo de los grandes abastecimientos de la C.A. resultan ser aptas para el consumo, es decir, salubres y limpias, adaptándose a lo requerido por la normativa tanto estatal como andaluza sobre el tema.

Complementariamente se ha llevado a cabo un estudio sobre la producción de aguas de proceso en las ETAP equipadas con las dos tecnologías, CAG y CAP al objeto de establecer diferencias entre las mismas (Tabla 3). Los datos obtenidos indican que las características de los dos tipos de aguas son esencialmente las mismas: tan sólo destacar algún ligero aumento de sólidos y DQO en las ETAP con CAP frente a las que implantaron CAG.

Además, todas estas aguas residuales de proceso se integran con el

Tabla 3. Producción de aguas de proceso en ETAP con tecnología de filtración sobre CAG y tecnología de dosificación de CAP

Tabla 3. Producción de aguas de proceso en ETAP con tecnología de filtración sobre CAG y tecnología de dosificación de CAP	
(a) Filtración CAG	Purgas decantación: 1-2% sobre $Q_{TRATADO}$
	Purgas decantación: 1-2% sobre $Q_{TRATADO}$
Sólidos en suspensión	200 a 400 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	10 a 30 mg/L
Demanda química de oxígeno	100 a 250 mg/L
(b) Dosificación CAP (aporte de ~0,1% sobre $Q_{TRATADO}$)	Purgas decantación: 1-2% sobre $Q_{TRATADO}$
	Lavado filtros: 2-3% sobre $Q_{TRATADO}$
Sólidos en suspensión	250 a 450 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	10 a 30 mg/L
Demanda química de oxígeno	150 a 300 mg/L



resto de aguas de proceso de las ETAP, gestionándose bien internamente en planta, bien siendo incorporadas al saneamiento general y posteriormente siendo depuradas en las EDAR de cada población con lo que su incidencia medioambiental es inapreciable.

CONCLUSIONES

La preocupación por la ocasional incidencia de fitosanitarios en el agua de consumo de la C.A. andaluza ha generado una atención específica sobre el tema a escala autonómica, plasmada en el Decreto 70/2009 de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía.

Esta preocupación siempre ha sido compartida por los abastecedores andaluces que han colaborado estrechamente con la Administración para solucionar los eventuales problemas que se hayan podido detectar. Como ejemplo, el seguimiento periódico de fitosanitarios en aguas brutas prepotables sin ningún tipo de ayuda o subvención oficial.

En el referido Decreto 70/2009 se obliga a los abastecimientos andaluces de más de 20.000 habitantes a la implantación de tecnologías contrastadas y eficaces para eliminación específica de fitosanitarios en aguas.

Dentro de estas tecnologías, se ha prestado especial atención a las derivadas del carbón activo: filtración sobre carbón activo granular (CAG) y dosificación de carbón activo en polvo (CAP). Ambas tecnologías están suficientemente contrastadas y funcionan de forma eficaz.

De las grandes ETAP andaluzas (16, con >20.000 h servidos) el 81% de han decantado por implantación de la tecnología CAP (a demanda) y el 19% por la tecnología CAG (en continuo).

En los dos casos se logra habitualmente la producción de agua de consumo con niveles adecuados de fitosanitarios a lo establecido en el RD 140/2003 y Decreto 70/2009, calificándose pues el agua de salubre y limpia.

En el 25% de los abastecimientos equipados con CAG o CAP no fue necesario su puesta en marcha al no haberse registrado incidencias de fitosanitarios desde 2.009 hasta la fecha.

Finalmente, la incidencia medioambiental de las aguas de proceso de ambas tecnologías es inapreciable al contar con una gestión adecuada de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Trabajo de Calidad del Agua de la Asociación de Abastecimientos de Agua y Saneamientos de Andalucía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- J. Ayele, V. Leclerc y Ph. Couillault. Efficiency of three powdered activated carbons for the adsorption of atrazine and diuron-use of some models. *Water SRT-Aqua*, 47 (1) (1998) 41-45.
- P.K. Gosh y L. Philip. Performance evaluation of waste activated carbon on atrazine removal from contaminated water. *J. Environ. Sci. Health* 40 (2005) 425.
- G. Grosó Cruzado. El carbón activo sus características y propiedades. *Tecnología del Agua* 177 (1998) 34-41.
- Información técnica comercial suministrada por Aguas de LevanteTM, GALAQUIMTM, ChiemivallTM, KEMIRATM, y BrenntagTM (2012).
- R. Marín Galvín. Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones. Ed. GPE, S.A., Barcelona (1.995).
- R. Marín Galvín. Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos. Ed. Díaz de Santos, Madrid (2.012).
- J.J.S. Mattson, H.B. Mark. Activated carbon: surface chemistry and adsorption from solution. *J. Colloid Inter. Sci.*, 275 (1) (2004) 214-244.
- F.J. Rojas Moreno, M. de la Fuente Darder, R. Marín Galvín and J.M. Rodríguez Mellado. Evaluation of commercial active carbons for the removal of s-triazines from waters. *J. Chem. Chem. Eng.*, 5 (2011) pp. 135-140.
- Y. Sudhakar, A. Dikshihit. Adsorbent selection for endosulfan removal from water environment. *J. Environ. Scie. Health*, 34 (1999) 97-118.

27

AÑOS DE
TRAYECTORIA
1987 - 2014

RETEMA

Revista Técnica de Medio Ambiente

www.retema.es

N° 175 • MAYO - JUNIO 2014

REPORTAJE
Ampliación de la EDAR de
Ciudad Real

Página 25

TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE AGUAS

Sistema ELAN® en la EDAR de Guillarei
Reportaje • Ampliación EDAR de Ciudad Real
La gestión del agua en Andalucía
Solución OptimEDAR

Artículos | Proyectos | Tecnología
Actualidad | Novedades | Directorio de Empresas



RotaCut®:
Protección eficaz de
equipos y bombas

Trituradores para múltiples aplicaciones

Vogelsang S.L.
vogelsang.es
info@vogelsang.es
+34 977 60 67 33

VOGELSANG
ENGINEERED TO WORK

