

LA REUTILIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES



RAFAEL A. HARO RAMOS.

JACOBA LOPEZ DIAZ.

Biólogos de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía.



LA REUTILIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

INTRODUCCION

Como es bien sabido, el agua es un recurso natural escaso e imprescindible para el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Los ríos, embalses y acuíferos subterráneos constituyen los puntos de abastecimiento de aguas potables para las poblaciones, así como fuentes de utilización para otros usos. Sin embargo, los cursos naturales de las aguas también son utilizados como medio de evacuación de las aguas residuales. Este hecho plantea una serie de problemas que se agravan en aquellos casos en los que la concentración de la población en grandes núcleos urbanos, origina la producción de enormes cantidades de efluentes, capaces de provocar graves alteraciones en los medios en los que son vertidos.

Cuando el volumen de vertido es escaso, la capacidad autodepuradora de las aguas receptoras puede eliminar dicha contaminación, pero si el vertido supera dicha capacidad se producen situaciones que en el peor de los casos acaban prácticamente con la vida acuática. Además, constituyen un riesgo sanitario importante para aquellas personas que entren en contacto directa o indirectamente con dichas aguas y, por tanto, un riesgo para la salud pública en general. Precisamente uno de los riesgos más directos es el empleo involuntario de aguas residuales, mediante la utilización para abastecimiento de ríos y embalses que puedan estar contaminados aguas arriba por otras colectividades.

A todo esto hay que añadir el continuo desarrollo de la industria, lo que origina el aumento de la contaminación de origen industrial,



Fig. 1.- Las grandes depuradoras convencionales suponen elevadas inversiones económicas, tanto de instalación como de mantenimiento. E.D.A.R. San Jerónimo (Sevilla).

que en algunos casos producen efluentes con componentes químicos tóxicos, lo que agrava la situación si la comparamos con la producida por efluentes de origen doméstico.

En este contexto, la reutilización de aguas residuales supone una opción a tener en cuenta en los planes de ordenación de los recursos hídricos, por las ventajas que presenta respecto a los siguientes aspectos:

- Utilización más racional de los recursos existentes, permitiendo conservar para el abastecimiento las aguas limpias, puesto que su garantía es elemento fundamental de calidad de vida.
- Mejora de las condiciones higiénicas del medio, disminuyendo la contaminación provocada por los vertidos directos de aguas residuales sin tratar.
- Aprovechamiento de los nutrientes contenidos en estas aguas, contribuyendo a la mejora de los suelos y a la reducción del consumo de abonos artificiales.

La presente publicación, elaborada básicamente a partir del Informe Técnico n° 778 de la OMS, pretende dar a conocer una visión global de las posibilidades de reutilización de las aguas residuales, pero planteada desde una perspectiva sanitaria, puesto que el efecto que puede originar sobre la salud pública constituye uno de los inconvenientes principales y un factor que viene provocando el rechazo inicial de estas prácticas.

CONSIDERACIONES SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para comprender con facilidad lo que se quiere expresar es necesario comenzar diferenciando algunos conceptos que serán utilizados a lo largo del texto:

- Aguas residuales domésticas: Aquellas que se generan exclusivamente por las actividades domésticas, estando libres de contaminantes industriales o tóxicos.
- Aguas residuales industriales: Aquellas que se originan como consecuencia de la actividad industrial, pudiendo estar contaminadas por agentes tóxicos o peligrosos.
- Aguas residuales urbanas: Aguas de origen doméstico y de la red municipal de alcantarillado, que no contienen cantidades apreciables de efluentes industriales.
- Aprovechamiento (=Reutilización): Práctica que se aplica a aquellas aguas que, habiendo sido ya empleadas para el abastecimiento, son utilizadas para otros usos, antes de su vertido a cauce público o al mar.

Los posibles riesgos derivados constituyen el inconveniente más importante de la reutilización de las aguas residuales. Sin embargo, estos riesgos pueden reducirse al mínimo con una planificación eficaz y, de hecho, así viene siendo planteado desde hace años por distintas instancias internacionales implicadas en el tema. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), entre otras,



Fig. 2.- Las aguas residuales brutas deben ser sometidas a los tratamientos oportunos antes de su reutilización. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla).

consideran las aguas residuales como un **valioso recurso que puede y debe ser empleado siempre que sea posible**. Tales planteamientos son ya recogidos por la legislación comunitaria y forman parte del espíritu de nuestra actual Ley de Aguas (1985) que, bajo la concepción del agua como un recurso unitario, escaso y susceptible de usos sucesivos establece las condiciones básicas de su reutilización.

La reutilización de las aguas residuales es una práctica especialmente indicada cuando se trata de efluentes de origen doméstico, pudiendo ser aplicada igualmente en las aguas residuales urbanas que procedan de núcleos con escasa presencia industrial o, en su caso, con vertidos industriales exentos de componentes químicos. Tampoco son utilizables los efluentes con alto contenido en sales (salmueras) o con presencia de metales pesados y/u otros productos tóxicos, dado que a la larga ocasionan problemas por su acumulación en el medio. En esta publicación nos referiremos exclusivamente al aprovechamiento de las aguas residuales urbanas depuradas.

Cabe señalar, finalmente, las óptimas condiciones (climatológicas, socioeconómicas, etc) que concurren en la mayor parte del territorio

español para la aplicación de tecnologías de bajo coste en la depuración de las aguas urbanas. Ello hace que la reutilización de aguas residuales tratadas por estos medios, constituya una solución real y económicamente factible a algunos de los problemas que la escasez y la contaminación de las aguas viene planteando en los últimos años.

TIPOS DE APROVECHAMIENTOS

La reutilización de las aguas residuales, especialmente en la agricultura de zonas áridas y semiáridas, se ha incrementado en los últimos tiempos, constituyendo una práctica habitual por la escasez de agua, la necesidad de ampliar la producción y la economía que supone en fertilizantes.

Además de su uso para riego de cultivos, las aguas negras pueden emplearse para riego de zonas verdes, acuicultura, industria, recreo y otros aprovechamientos, tales como los usos municipales o la infiltración en el terreno (Tabla 1). No obstante, en lo sucesivo se hará especial hincapié en el uso para agricultura, dado que constituye la opción más frecuente y la que requiere mayor consumo de agua.

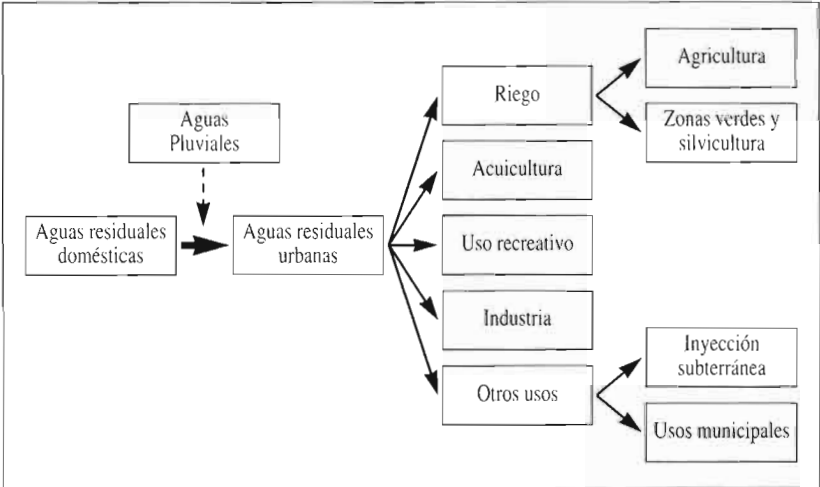


Tabla. 1.- Principales opciones en la reutilización de aguas residuales



Riego en agricultura

El riego de cultivos mediante aguas residuales en bruto previamente diluidas constituye una práctica antigua y común en muchas regiones de nuestra geografía, aunque habitualmente se realiza sin las necesarias garantías sanitarias. Este aprovechamiento agrícola abarca el riego de huertas, viñas, forrajes, cultivos de producción de fibras y semillas, cultivos para consumo después de su elaboración y cultivos de consumo en crudo.

En determinados países las aguas residuales se vienen utilizando desde hace tiempo para el riego de grandes extensiones de cultivos de diversa índole. Algunos de los ejemplos más representativos son los siguientes:

- EE.UU. es uno de los países con mayor experiencia en aprovechamiento de aguas residuales. En 1980 ya existían en funcionamiento más de 3.400 proyectos para reutilización en regadíos.
- Las aguas de la ciudad de Méjico se están utilizando para regar 80.000 has. de alfalfa, maíz, cebada y avena, estando prohibida



Fig. 3.- Los filtros verdes obtienen resultados satisfactorios en la depuración de aguas residuales. P.E. Carrión de los Céspedes.

su utilización para los cultivos de verduras y todo lo que tenga contacto directo con el suelo.

- En Túnez también se aplica la selección de cultivos y el procesamiento de las aguas negras mediante un tratamiento biológico secundario convencional, siendo utilizadas para regar varios millares de has. de cítricos.
- Israel, país pionero en estas actividades, ha puesto en funcionamiento muchos proyectos de riego que han permitido utilizar más del 70% del volumen total de efluentes con origen urbano, aplicando igualmente la restricción de cultivos (algodón y forrajes) y la depuración parcial de las aguas mediante un tratamiento mínimo en estanques de estabilización.
- En Kuwait se aplican tecnologías tales como la filtración rápida en arena, la cloración y el tratamiento convencional de las aguas negras, siendo empleadas para el riego de campos cercados que son administrados por compañías privadas.

Riego de zonas verdes

Dado el nivel actual de consumo de agua, progresivamente se está incrementando la utilización de efluentes para campos de golf y jardines. Esta práctica tiene especial relevancia en las zonas costeras, donde la proliferación de dichas áreas está ocasionando en muchos casos sobreexplotación de los acuíferos, lo que unido a la intrusión marina genera dificultades en el suministro de agua de consumo público.

También se debe incluir en este epígrafe el uso de las aguas residuales en silvicultura, lo que implica amplios beneficios ambientales, sobre todo alrededor de las grandes ciudades.

Acuicultura

La reutilización de las aguas residuales para el cultivo de peces y plantas acuáticas es una práctica realizada con frecuencia en Asia,



Fig. 4.- Los campos de golf suponen medios excelentes para el aprovechamiento de efluentes urbanos.

especialmente en la India. En países europeos está menos desarrollada, destacando Alemania donde se obtienen resultados satisfactorios sometiendo las aguas residuales a aireación y posterior dilución con agua de río.

La principal especie cultivada es la carpa común y el objetivo fundamental de la actividad es el aprovechamiento por parte de las plantas de los nutrientes incluidos en los efluentes, que a su vez son utilizadas por los peces.

Industria

Aunque no es una práctica muy extendida, las aguas residuales pueden ser empleadas también como sistema de refrigeración, siendo utilizadas asimismo en cualquier proceso que no requiera agua de excelente calidad.

Uso recreativo

Las aguas residuales pueden ser utilizadas como aporte de agua a lagos con fines estéticos, para navegación deportiva, pesca e incluso natación. La realización de una u otra actividad estará en función del tratamiento a que sean sometidas, siendo tanto más exigente respecto a la calidad bacteriológica cuanto mayor sea su posible incidencia en la salud de la población. En el caso de la natación y el baño, deberán cumplirse las características especificadas en el R.D.734/88, por el que se establecen normas de calidad de las aguas de baño.

Otros aprovechamientos

Además de los descritos, las aguas residuales pueden tener otros usos tales como los aprovechamientos municipales (riego de calles, arcenes, etc.) o la inyección subterránea en acuíferos con el fin de repeler la intrusión marina o de aguas salobres. Esta última técnica se ha desarrollado especialmente en Israel.



Fig. 5.- Depuración de aguas residuales mediante cultivo de lentejas de agua (*Lemna sp.*). P.E. Carrión de los Céspedes.



ASPECTOS SANITARIOS DE LA REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Antecedentes

La alta concentración de organismos patógenos contenida en las aguas residuales urbanas (bacterias, virus, protozoos, helmintos) las convierte en un magnífico vehículo de enfermedades transmisibles. Sin embargo, conscientes de que su utilización en la agricultura es una práctica habitual en muchos países del mundo, y de sus implicaciones sanitarias, a finales de 1971 la Organización Mundial de la Salud organizó una Reunión de Expertos sobre Aprovechamiento de Efluentes y elaboró unas directrices sanitarias para la reutilización de las aguas residuales urbanas. Estas directrices, basadas fundamentalmente en criterios microbiológicos, centraban sus objetivos de calidad en conseguir un efluente lo más aséptico posible, estableciendo para ello normas estrictas.

En la actualidad existen pruebas epidemiológicas suficientes de que el riesgo real relacionado con el uso de aguas residuales tratadas en agricultura es mucho menor de lo previsto y que, por tanto, no está justificada la aplicación de normas tan restrictivas como las establecidas por la OMS en 1971. En efecto, numerosos estudios epidemiológicos aportados por destacados expertos en el tema corroboran esta tesis y, en base a ello, la OMS elaboró en 1989 unas nuevas directrices con criterios más realistas y permisivos.

Pruebas epidemiológicas

El análisis de todos los estudios epidemiológicos disponibles a nivel mundial sobre el uso de aguas residuales en la agricultura, permitió a diversos autores (Shuval y otros) llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) El riego de cultivos con aguas residuales **sin tratar** causa un número excesivo de infecciones por nemátodos intestinales, tanto en consumidores como en agricultores, en aquellas regiones

donde son endémicas. Este hecho no se constata cuando las aguas han sido sometidas a un tratamiento ordinario (sedimentación primaria, tratamiento biológico y sedimentación secundaria).

- 2) Determinadas enfermedades infecciosas (como el cólera y las fiebres tifoideas) pueden transmitirse mediante el riego de verduras con aguas residuales **sin tratar**.
- 3) El pastoreo de ganado en praderas regadas con aguas residuales **brutas** pueden ocasionar infecciones con helmintos (cisticercosis).
- 4) El uso de aguas residuales **brutas** para riego de campos tiene escasa incidencia en aquellas comunidades con buenos hábitos de higiene personal.
- 5) No se ha detectado un riesgo real de transmisión de enfermedades por riego por aspersión con aguas residuales **tratadas**.



Fig. 6.- Depuración de aguas residuales mediante filtros de turba. P.E. Carrión de los Céspedes.



Factores que intervienen en la transmisión de las enfermedades

Los virus patógenos, bacterias, protozoos y helmintos contenidos en las aguas residuales pueden producir infecciones a través de la piel (caso de algunos helmintos) o por ingestión de alimentos contaminados por estas aguas. Sin embargo, para que su uso represente un **riesgo sanitario real** deben coincidir **todas** las condiciones siguientes:

- a) Que el germen patógeno penetre en un terreno en número suficiente para constituir una dosis infectiva, o bien que se multiplique allí hasta alcanzar tal dosis.
- b) Que la dosis infectante penetre en un huésped humano.
- c) Que el huésped quede infectado.
- d) Que la infección cause la enfermedad o se transmita de nuevo.

El riesgo sólo será **potencial** si no existe la condición d) y, aún existiendo esta condición, sólo será de importancia para la salud pública si causa excesiva prevalencia de enfermedad o intensidad de infección.

Por otra parte, ciertas características epidemiológicas básicas de los organismos patógenos contribuyen a incrementar los riesgos:

- Alta persistencia del agente patógeno en el medio (suelos, cultivos, aguas, etc).
- Baja dosis infectiva.
- Poca inmunidad del huésped.
- Mínima transmisión simultánea por otras vías (alimentos, agua, hábitos de higiene, etc).

Partiendo de estas bases es de suponer que los agentes patógenos más persistentes en el medio, con mayor período de latencia, dosis infectivas más bajas y a los que la inmunidad del huésped es baja, representan el mayor riesgo real ocasionado por la utilización de aguas residuales. En este grupo se encuentran helmintos intestinales como las tenias.

Sin embargo, los virus entéricos tienen menos importancia en la transmisión de enfermedades a través de las aguas residuales de lo que podría esperarse. Ello es debido a que el papel de la inmunidad es más destacado, puesto que el individuo adquiere inmunidad permanente en los primeros años de su vida.

Finalmente, cuando el riesgo de transmisión por otras vías es elevado, como en el caso de infecciones fecales transmitidas por vía oral (por ejemplo las bacterias *E. coli* y *Salmonella sp.* y el protozoo *Giardia lamblia*), un bajo incremento de la transmisión originada por el aprovechamiento de aguas residuales puede tener menor importancia relativa.

Puede deducirse, por tanto, que cuando se utilizan aguas residuales sin tratar para el riego, la infección helmíntica es el riesgo más importante; el riesgo de infección bacteriana es menor, aunque también elevado, y muy bajo o nulo en el caso de los virus.

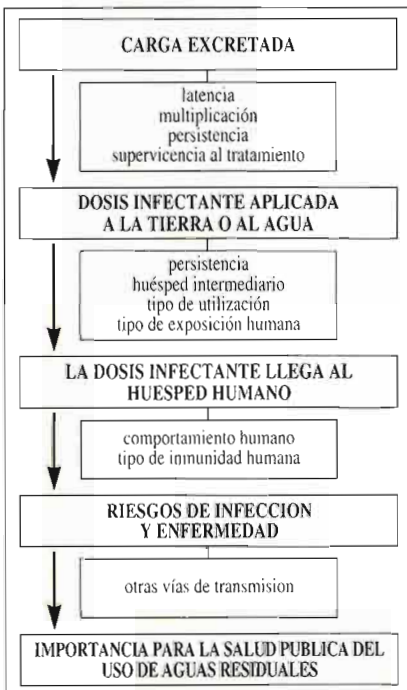


Tabla 2.- Propiedades del huésped y del agente patógeno que influyen en las sucesivas etapas que van desde la presencia de un agente patógeno en las aguas residuales hasta la enfermedad humana mensurable e imputable al empleo de las mismas.

Fuente: Blum y Feachem (1985).



En la Tabla 2 se exponen las etapas necesarias para que se plantee un riesgo sanitario, junto con las propiedades del agente patógeno y del huésped y las posibles interacciones. Si la secuencia se interrumpe en algún punto, los riesgos potenciales no se traducen en un riesgo real. Este es el fundamento sobre el que se basan los diferentes métodos de protección sanitaria que se exponen a continuación.

MEDIDAS DE PROTECCION SANITARIA EN EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Directrices sobre los efluentes empleados en agricultura

Como ya se ha indicado, en el año 1973 la OMS elaboró un primer informe que marcaba unas normas microbiológicas muy restrictivas respecto a la reutilización de aguas residuales. Posteriormente se ha establecido un consenso entre los técnicos en el sentido de que el riesgo de dichas prácticas es inferior al previsto inicialmente.



Fig. 7.- La contaminación mediante vertidos industriales o mineros anula las posibilidades de reutilización de las aguas en las que son eliminados. Río Tinto en 1.987 (Huelva).

Categoría	Reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales ^b (media aritmética n° de huevos por litro ^c)	Coliformes fecales en 100 ml (media geométrica ^c)	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego no restringido Cultivos que se consumen crudos, campos de deportes, parques públicos. ^d	Consumidores, trabajadores agrícolas y público	≤ 1	≤ 1	Estanques de estabilización con tiempo de retención de 20 días o tratamiento equivalente
B	Riego restringido Cultivos industriales y forrajeros, cereales, árboles ^e y cultivos que se consuman cocinados	Trabajadores agrícolas	≤ 1	No se recomienda ninguna norma	Estanques de estabilización con tiempo de retención de 10 días o tratamiento equivalente
C	Riego localizado de los cultivos de la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos		Ninguna norma	Ninguna norma	Al menos sedimentación primaria

^a En casos específicos, se deben tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioeconómicos y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.

^b Especies *Ascaris* y *Trichuris* y *Anquilostomas*.

^c Durante el período de riego.

^d Conviene establecer una directriz más estricta (<200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos.

^e En uso de árboles frutales el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Fuente: OMS 1989

Tabla 3. Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura^a.

Las nuevas normas, establecidas en el informe elaborado en 1989 y recogidas en la Tabla 3, son más estrictas respecto a los huevos de helmintos pero menos en cuanto a la calidad bacteriológica.

La norma de calidad para el riego sin restricciones (categoría A) exige la reducción del número de huevos de helmintos contenidos en las aguas residuales hasta una concentración de uno o menos por litro y una concentración máxima de 1.000 coliformes fecales por 100 ml; no obstante, en casos donde pueda haber un contacto directo del público con las aguas residuales, como en parques públicos o campos deportivos, la OMS recomienda que no se exceda de 200 coliformes fecales/100 ml. Esta calidad de agua es suficiente para proteger la salud de todos los grupos que pudieran estar expuestos



(trabajadores agrícolas, consumidores de los cultivos regados y público de parques y zonas deportivas).

La norma de calidad para el riego restringido (categoría B) recomienda los mismos requisitos para helmintos pero no señala ninguna directriz sobre la calidad bacteriológica, puesto que los trabajadores agrícolas (único grupo afectado) tienen un riesgo mínimo o nulo respecto a la infección por bacterias contenidas en las aguas residuales empleadas en el riego, según las pruebas epidemiológicas que se poseen.

No obstante, es necesario señalar que los valores de las directrices dadas en la tabla 3 no se deben interpretar en sentido estricto, por lo que podrán ser modificados según los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales.

Opciones técnicas

El aprovechamiento de las aguas residuales en la agricultura, sin riesgos para la salud, requiere el empleo de un conjunto integrado de medidas, cuya combinación óptima dependerá de las condiciones locales y del grupo de personas a proteger. Estas medidas son:

- Tratamiento de las aguas residuales.
- Restricción de cultivos.
- Control de los usos y exposiciones.
- Fomento de la higiene.

Tratamientos de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales es un tema ampliamente comentado en la bibliografía existente. Basta citar por su claridad y facilidad de comprensión las Hojas Divulgadoras nº 14-15/88, 10/88 y 16/89.

Los procedimientos convencionales de depuración (sedimentación simple, producción de lodo activado y uso de filtros biológicos, la-



Fig. 8.- Balsa de almacenamiento de agua depurada. E.D.A.R. de Antequera (Málaga).

gunas de aireación mecánica y zanjas de oxidación), aunque consiguen una reducción considerable de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y de los Sólidos en Suspensión, no permiten fácilmente la obtención de efluentes aptos para el riego de cultivos incluidos en la categoría A y, además, no son efectivos para la eliminación de huevos de helmintos. Por ello se puede pensar en aplicar una desinfección, por ejemplo por medio de cloro, pero la reducción del número de bacterias por este procedimiento no es homogénea y requiere un cierto coste, no afectando a los huevos de helmintos.

Por todo ello, la OMS considera que los estanques de estabilización constituyen el mejor tratamiento secundario a aplicar, especialmente en zonas de clima cálido, dado su bajo coste, alto rendimiento y mínimo mantenimiento; dicho procedimiento es tanto más efectivo cuanto mayor es la temperatura media ambiental de la zona donde se instala.

Las ventajas de los estanques de estabilización frente a otros sistemas de tratamiento son muchas:



- Alto grado de confianza para cumplir las directrices microbiológicas.
- No consumen energía, a excepción de la solar.
- Gran capacidad de absorción de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Extremada sencillez de manejo y mantenimiento.

El único inconveniente a señalar es la extensión relativamente grande que requiere, lo que puede limitar su uso en aquellos lugares donde el valor del terreno es elevado o su disponibilidad es escasa.

Por otra parte, no se debe olvidar que la aplicación de tecnologías de bajo coste para la depuración de aguas residuales tiene como resultado la escasa producción de lodos residuales, puesto que éstos son digeridos a la vez que se depuran las aguas, lo que redundaría asimismo en un menor gasto global.

Selección de cultivos y métodos de riego

La selección de cultivos constituye una estrategia de protección al consumidor. La calidad que debe tener el efluente depende del tipo de cultivo al que se va a aplicar; por lo tanto, la restricción de cultivos



Fig. 9.- Depuración de aguas residuales mediante plantas emergentes.
P.E. Carrión de los Céspedes.

ELEMENTO	PARA AGUA USADA INDEFINIDAMENTE SOBRE CUALQUIER SUELO	PARA USO HASTA 20 AÑOS SOBRE SUELOS DE TEXTURA FINA Y PH ENTRE 6,0 Y 8,5
Aluminio (Al)	5,0	20,0
Arsénico (As)	0,10	2,0
Berilio (Be)	0,10	0,5
Boro (Bo)	0,75	2,0
Cadmio (Cd)	0,01	0,05
Cobalto (Co)	0,05	5,0
Cobre (Cu)	0,20	5,0
Cromo (Cr)	0,10	1,0
Flúor (F)	1,0	15,0
Hierro (Fe)	5,0	20,0
Litio (Li)	0,075	0,075
Mnganeso (Mn)	0,20	10,0
Molibdeno (Mo)	0,01	0,05
Níquel (Ni)	0,20	2,0
Plomo (Pb)	5,0	10,0
Selenio(Se)	0,02	0,02
Vanadio (V)	0,1	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Fuente: Ayers, R.S. y Wescot, D.W. FAO 1985.

Tabla 4.- Concentraciones máximas recomendadas por la FAO para el agua de riego (mg/l)

debe ser entendida como una medida más dentro del contexto de un sistema de control. Además se deberá indicar a los agricultores la necesidad de la selección de los cultivos y darles el suficiente apoyo y asesoramiento para su introducción.

El riego de ciertos cultivos, especialmente los que se consumen crudos, exigen el empleo de efluentes de alta calidad (tabla 3) pero para otros se pueden emplear aguas residuales de calidad inferior sin riesgo alguno para el consumidor. Sin embargo, si el efluente empleado para el riego es de muy mala calidad, pueden verse afectados los agricultores.

Por tanto según los grupos expuestos y las medidas de protección sanitaria que exigen, los cultivos pueden clasificarse en tres grupos:



Fig. 10.- Depuración mediante sistema de biodiscos. P.E. Carrión de los Céspedes.

Categoría I.

Los efluentes empleados deben cumplir las directrices para el riego sin restricciones (huevos de helmintos $\leq 1/l$, coliformes fecales $\leq 1000/100$ ml). Se necesita proteger a los consumidores, los trabajadores agrícolas y el público en general. Se incluyen en este grupo:

- Cultivos que se consuman en crudo y que puedan estar en contacto directo con el agua residual (hortalizas frescas –lechugas, zanahoria, etc– o frutas regadas por aspersión).
- Campos con acceso al público (parques, campos de deporte, etc).

Categoría II.

Se utilizan aguas de menor calidad, aguas para riego restringido (huevos de helmintos $\leq 1/l$). Además de la protección de los trabajadores del campo, puede ser necesaria la adopción de otras medidas tales como detener el riego con aguas residuales por un período determinado antes de recoger la cosecha. Se incluye en este grupo:

-
- Cultivos para consumo humano que no entren en contacto directo con las aguas residuales (árboles frutales, viñas, etc). Será necesario evitar su recogida del suelo y su riego por aspersión.
 - Cultivos de pastos y forrajes verdes.
 - Cultivos para consumo humano que no se ingieran crudos (patatas, remolachas, berenjenas, etc).
 - Cultivos para consumo humano cuya cáscara no se come (nueces, cacahuetes, etc).
 - Cualquier cultivo que se riegue por aspersión.

Categoría III.

Cultivos que pueden regarse con aguas de baja calidad (no se establecen normas microbiológicas pero se requiere un tratamiento de al menos sedimentación primaria). Sólo necesitan protección los trabajadores agrícolas. Se integran en este grupo los siguientes:

- Cultivos destinados a industrias no alimentarias (algodón, cáñamo, etc).
- Cultivos que se tratan por el calor o que se desecan antes de ser consumidos (cereales, semillas oleaginosas, etc).
- Cultivos destinados a la fabricación de enlatados u otros tratamientos que destruyen los patógenos.
- Cultivos forrajeros secados al sol, recolectados antes de ser consumidos por animales.
- Campos cercados a los que el público no tiene acceso (viveros de ornamentales, etc).

Respecto a los métodos de riego, la aplicación de efluentes al terreno se puede realizar de cinco formas generales:

- 1) Por anegamiento, donde se moja prácticamente toda la superficie del terreno.



- 2) Mediante surcos; se moja parte de la superficie del terreno.
- 3) Por aspersión; el suelo y los cultivos se mojan de igual forma que cuando llueve.
- 4) Riego del subsuelo; la superficie apenas se moja pero el suelo se satura.
- 5) Riego localizado (goteo); se aplica el agua a cada planta a un ritmo ajustable.

En líneas generales se puede decir que si el agua residual tratada se ajusta a las directrices marcadas por la OMS para uso sin restricciones, puede utilizarse cualquiera de los 5 métodos de riego, quedando la elección supeditada, en todo caso, a problemas de costos, disponibilidad de agua, inclinación del terreno, etc.

Si el agua es de menor calidad pero se quiere regar con ella cultivos de la categoría II, es necesario adoptar las siguientes medidas:

- a) No regar por aspersión, excepto para el cultivo de pastos forrajes.
- b) No regar las hortalizas por anegamiento.



Fig. 11.- Numerosos cauces de nuestra geografía sufren las consecuencias de los vertidos de aguas residuales brutas.



Fig. 12.- Detalle de un desengrasador antes de la entrada en los filtros de turba.
P.E. Carrión de los Céspedes.

El riego del subsuelo y el riego por goteo son los dos métodos que ofrecen mayores garantías sanitarias, además de permitir un uso más racional del agua y ofrecer mejores rendimientos, pero necesitan elevadas inversiones económicas y todavía no se han empleado a gran escala para el riego con aguas residuales.

Utilización de las aguas residuales y control de la exposición humana.

La utilización de las aguas residuales en agricultura puede afectar fundamentalmente a 4 grupos de población diferentes:

- Los trabajadores agrícolas y sus familias.
- El personal que maneja los productos cultivados.
- Los consumidores (de cultivos, carne y leche).
- Las personas que viven cerca de los campos afectados.



Para controlar la exposición de cada uno de estos grupos pueden tomarse diversas medidas. Los riesgos de contraer infecciones parasitarias en los trabajadores del campo pueden reducirse sensiblemente adoptando las condiciones de higiene precisas (calzado adecuado, empleo de guantes, etc).

Los riesgos para los consumidores pueden reducirse con programas adecuados de educación sanitaria sobre higiene de los alimentos y mediante la adopción de ciertas precauciones, como la suspensión de los riegos con aguas residuales durante un tiempo antes de la recolección. Así, el riego de árboles frutales con aguas residuales debe eliminarse dos semanas antes de la recogida de los frutos. Por otro lado, puede reducirse el riesgo de cisticercosis bovina interrumpiendo la aplicación de residuales al menos dos semanas antes de sacar el ganado a pastar, a pesar de que los huevos de *Taenia* sobreviven durante varios meses en las tierras de pastos. El cocinado de los alimentos antes de su consumo y la observancia de estrictas normas de higiene constituyen otros procedimientos para reducir los riesgos en los consumidores.



Fig. 13.- La eutrofización es otro de los problemas que surgen como consecuencia de vertidos a cauces.

Finalmente, cabe decir que aunque no hay pruebas epidemiológicas que demuestren que las personas que viven cerca de los campos regados con aguas residuales, corran un riesgo importante por los patógenos presentes en los aerosoles de los sistemas de riego por aspersión, deben tomarse las precauciones necesarias para proteger a los residentes del goteo directo de los aspersores, no empleándolos a menos de 100 metros de viviendas o caminos.

PLANIFICACION DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACION.

Como ya se ha indicado, el aprovechamiento de las aguas residuales es de gran importancia en la planificación de los recursos hídricos, especialmente en las regiones donde la escasez de agua constituye un problema evidente.

Poner en marcha un proyecto de esta índole resulta más fácil cuando se trata de zonas administradas por entidades o comunidades afi-



Fig. 14.- El aprovechamiento de las aguas residuales favorece la utilización de aguas de mejor calidad para abastecimiento. Embalse El Pintado (Sevilla) en época de sequía (1992).



nes (por ejemplo cooperativas o comunidades de regantes) que si se pretende desarrollar en áreas donde predominan parcelas explotadas individualmente por pequeños agricultores.

En cualquier caso, el expedir cualquier permiso de aprovechamiento deberá estar condicionado a la adopción de las prácticas más adecuadas para que se garantice la inocuidad de los productos obtenidos.

La identificación precisa de los proyectos de reutilización, sus características técnicas y su magnitud, constituyen un factor fundamental para la correcta evaluación de los posibles riesgos sanitarios y la aplicación de las medidas de protección oportunas.

En todo proyecto, los principales aspectos técnicos que deben concretarse son los siguientes:

- Volumen actual y previsto de generación de aguas residuales. Proporción actual y prevista de efluentes industriales. Grado de dilución con aguas superficiales.
- Instalaciones actuales y previstas para el tratamiento de las aguas residuales. Eficacia en la supresión de agentes patógenos. Calidad físico-química del agua tratada.
- Superficie de regadío: extensión, emplazamiento, tipo (tierras de cultivo, parques públicos, etc).
- Geología local y riesgo potencial de contaminación de aguas freáticas. Tipos de suelos, terrenos en pendiente.
- Red de conducción de las aguas residuales a los campos. Estaciones de bombeo.
- Requisitos de almacenamiento de las aguas residuales.
- Métodos de aplicación, tanto para riego restringido como para no restringido.

Aspectos legislativos

El empleo de normas estrictas sobre la calidad de aguas residuales para su reutilización ha llevado a que no se respeten las recomenda-



Fig. 15.- El riego a pie constituye una práctica muy extendida y de gran consumo de agua. Cultivos tempranos en la costa de Nerja. Autor: Rafael Haro.

ciones iniciales dadas por la OMS, o bien a que en muchos casos se haya desestimado su aprovechamiento.

Por tanto, las normas que se adopten deben estar en consonancia con las condiciones locales y tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada localidad.

En España, hasta el momento actual, la única normativa estatal con incidencia directa en la reutilización de aguas residuales es la Ley 29/1985, de Aguas, y el Real Decreto 849/1986 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla determinados títulos de la citada Ley.

En su capítulo III (“De la reutilización de aguas depuradas”) el Real Decreto citado indica que las condiciones básicas para la reutilización directa de los efluentes deberán ser establecidas por el Gobierno (Art. 272.1). Hasta el momento, estas condiciones todavía no han sido establecidas.



No obstante, dado que la previsión de riesgos sanitarios constituye un factor fundamental en los planes y proyectos de aprovechamiento de las aguas residuales, el R.D. 849/86 establece (Art. 272.4) la obligatoriedad de que el Organismo de Cuenca recabe informe, con carácter vinculante, de las autoridades sanitarias en todos los casos de reutilización de estas aguas.

Aspectos económicos

Entre los beneficios que reporta la reutilización de las aguas residuales se pueden citar el valor de los cultivos producidos, el empleo generado, el ahorro en fertilizantes y el daño que se evita respecto a contaminación ambiental.

Por otra parte, en las zonas costeras puede dar lugar a la eliminación de los emisarios submarinos, con las ventajas que esto supone respecto a contaminación marina y a gastos de mantenimiento.



Fig. 16.- Los puntos de vertido de aguas domésticas presentan una exuberante vegetación, dado el alto contenido de nutrientes que poseen.



Fig. 17.- La reutilización de las aguas evita impactos negativos en el medio ambiente. Parque Natural Entorno de Doñana.

Al realizar un proyecto de reutilización de efluentes es necesario valorar en su justa medida los costes derivados de la instalación de los sistemas de almacenamiento y distribución (estanques, depósitos, canales, etc). Igualmente, deberá considerarse el gasto de tratamiento de las aguas, aunque esto sólo representa la cuarta parte del costo que supone el abastecimiento y la evacuación de desechos.

De otro lado, no debe olvidarse que se reutilice o no, la recolección de las aguas residuales es necesaria, por lo que su costo no deberá incluirse en las evaluaciones económicas de los proyectos. Igualmente, el transporte de efluentes tratados deberá realizarse mediante gravedad, evitando el recorrido de las mismas a través de grandes distancias.

Mejora de las prácticas existentes de reutilización

Considerando que la reutilización de aguas residuales constituye un hecho real, la primera medida de protección frente a ellas es el tratamiento de las mismas hasta reducir su carga contaminante a los niveles



recomendados, aunque en muchos casos esto no es fácil porque no siempre se dispone de terreno en cantidad suficiente en las zonas urbanas.

También será necesario el asegurarse que el uso de estas aguas no contamina las fuentes o los acuíferos cercanos.

La restricción de cultivos también supone una medida de mejora, tanto más fácil de desarrollar en la medida que la distribución de los efluentes se realiza bajo control de Organismos Oficiales, asociaciones o comunidades de regantes. Por tanto, se impone la necesidad de cambiar los métodos tradicionales de empleo de aguas residuales cuando éstas son utilizadas, aplicando sistemas de riego que dan mayor protección frente a la contaminación y permiten un uso más eficiente (por ejemplo el goteo).

Según las recomendaciones realizadas por la OMS, en las regiones que sean susceptibles del desarrollo de experiencias de este tipo es conveniente realizar un proyecto piloto en el que se puedan valorar los factores que le influyen, considerando además que dicho proyecto podrá constituir posteriormente una instalación de adiestramiento para operarios y agricultores.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE. Principado de Asturias. 1988. Saneamiento y depuración de aguas residuales en pequeños núcleos rurales. Hoja Divulgadora del M.A.P.A. nº 14-15/88.

AYERS, R.S. AND WESTCOT, D.W. 1985. Water quality for agriculture. Documento de riego y desagüe. FAO. nº 29, 1ª rev.

BLUM, D. y FEACHEM, R.G. 1985. Health aspects of nighsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Par III: an epidemiological perspective. Dübendorf, Centro Internacional de Referencia sobre Evacuación de Desechos. Informe nº 05/85.

CONSEJERIA DE SALUD. Junta de Andalucía. 1994. Criterios

para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas.

GLOYNA, E.F. 1973. Estanques de estabilización de aguas residuales. OMS. Ginebra.

MASSA, M.P. 1988. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Lagunas de estabilización, Hoja Divulgadora del M.A.P.A. n° 10/88.

MARA, D. CAIRNCROSS, S. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretadas en agricultura y acuicultura. OMS. Ginebra.

OMS. 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de Informes Técnicos n° 778.

OMS. 1973. Aprovechamiento de efluentes: métodos y medidas de protección sanitaria en el tratamiento de aguas servidas. Serie de Informes Técnicos n° 517.

SHUVAL, H.I. et al, 1986. An epidemiological model of the potential health risk associated with various pathogens in wastewater irrigation. Water science and technology, 18: 191 -198.

Autores de las fotografías: Alonso Ortiz Domínguez, portada y figuras 3, 9 y 13. Juan Ramón Boyero Gallardo, figuras 2, 5, 6, 10 y 12. Rafael A. Haro Ramos, figuras 1, 4, 7, 8, 11, 14, 15, 16 y 17.



MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN

SECRETARIA GENERAL TECNICA
CENTRO DE PUBLICACIONES

Paseo de la Infanta Isabel, 1 - 28014 Madrid