

# PARÁMETROS DE CALIDAD PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES. GUÍAS DE CALIDAD DE EFLUENTES PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD

Ing. Guillermo León Suematsu

## 1. Directrices sanitarias de la OMS para la agricultura

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Sin embargo, como se señaló antes, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para aprovechamiento frecuentemente se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Puesto que no existe duda sobre el origen fecal de las aguas residuales, se supone que estos microorganismos se pueden emplear como indicadores de patogenicidad y que existe por lo menos una relación semicuantitativa entre las concentraciones de microorganismos patógenos y las de indicadores. En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares. El grupo de coliformes totales es menos fiable como indicador, pues no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y, a menudo, la proporción de coliformes no fecales es muy elevada en los climas cálidos. Los coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de los virus excretados y tienen uso muy limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos, para los cuales no existen indicadores seguros.

Por lo general, las normas o directrices sobre la calidad de las aguas residuales que se pretende emplear para riego de cultivos sin restricciones, incluso para cultivos de legumbres y verduras para ensaladas que se consumen crudas, contienen reglas explícitas (i.e., indican el máximo número de coliformes) y requisitos mínimos de tratamiento (primario, secundario o terciario) según la clase de cultivo que se debe regar (si es para consumo o no). Las normas establecidas en los últimos 50 años han sido, en general, muy estrictas, ya que se han basado en una evaluación teórica de los posibles riesgos que para la salud tiene la supervivencia de agentes patógenos en las aguas residuales, el suelo y los cultivos, antes que en pruebas epidemiológicas fehacientes del riesgo real. Hasta cierto punto, esas primeras normas se basaron en un concepto de "riesgo nulo", con el fin de lograr un medio "antiséptico" o carente de agentes patógenos. En esa época, el método preferido para la eliminación de agentes patógenos, a juzgar por el caso de los coliformes, era el tratamiento biológico secundario seguido de cloración cuidadosamente controlada de efluentes. Al menos en teoría, esto permitiría lograr mínimas concentraciones residuales de coliformes. El máximo número permisible de coliformes fue también bajo. Por ejemplo, las normas del Departamento de Salud Pública del Estado de California permiten solo 23 ó 2,2 coliformes por cada 100 ml, según el cultivo regado y el método de riego empleado.

En 1971, el Grupo de Expertos de la OMS en Aprovechamiento de Efluentes reconoció que las normas extremadamente estrictas fijadas en California no encontraban justificación en las pruebas epidemiológicas existentes y recomendó una directriz sobre la calidad microbiológica del agua empleada para riego sin restricciones de verduras que se consumen cocidas, según la cual el número de coliformes totales no puede ser mayor de 100 por cada 100 ml, lo que representó una liberación con relación a la medida anterior. Los asistentes a la reunión opinaron que se necesitaba establecer una base epidemiológica más sólida para las directrices sobre el riego con aguas residuales y recomendó que se investigara plenamente este asunto.

Desde entonces, la OMS, el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (Canadá), el Centro Internacional de Referencia sobre Disposición de Desechos (Suiza), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y muchas instituciones académicas han hecho un gran esfuerzo por establecer una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales.

Se han acumulado nuevas pruebas epidemiológicas y evaluado estudios e informes de años anteriores. Las comprobaciones de estos estudios fueron analizadas cuidadosamente por destacados expertos en salud pública, epidemiología y medio ambiente en las reuniones de Engelberg y Adelboden en 1985 y 1987, respectivamente, así como en numerosas reuniones y consultas nacionales e internacionales. Los expertos concuerdan en que el riesgo real de las aguas residuales tratadas es mucho menor de lo previsto y que no se justifica que hayan sido tan severas las primeras normas y pautas sobre la calidad microbiológica de los efluentes usados en riego sin restricciones de legumbres y verduras normalmente consumidas crudas, sobre todo en lo que respecta a agentes patógenos bacterianos.

Partiendo de estas nuevas pruebas, en el informe de Engelberg se recomendaron directrices que contienen normas menos estrictas que las establecidas anteriormente para los coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas que las precedentes en lo que se refiere al número de huevos de helmintos que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo real para la salud pública especialmente en las zonas donde las helmintiasis son endémicas. Las recomendaciones de Engelberg se revisaron y confirmaron en la reunión de Adelboden. Después de considerar este trabajo preparatorio y las pruebas epidemiológicas obtenidas, el Grupo Científico recomendó las directrices que aparecen en el cuadro 1. Éstas se basan en el hecho de que en muchos países en desarrollo los principales riesgos reales para la salud, como se indicó antes, guardan relación con las helmintiasis, y por lo tanto, el uso inocuo de aguas residuales en agricultura o acuicultura exigiría la eliminación casi completa de los helmintos. En consecuencia, estas directrices introducen un método más estricto para reducir el número de huevos de helmintos (de las especies *Áscaris* y *Trichuris* y de anquilostomas) en los efluentes a una concentración de uno o menos por litro. Esto significa que se debe eliminar un 99,9% de los huevos de helmintos mediante tratamientos apropiados en las zonas donde las helmintiasis son endémicas y presentan riesgos tangibles para la salud. Los estudios prácticos indican que las concentraciones de helmintos raras veces son superiores a 1.000 por litro, aún en las zonas endémicas. Los estanques de estabilización con un período de retención de 8 a 10 días son particularmente eficaces para lograrlo, pero también hay otras tecnologías. Si bien es imposible referirse en las directrices a todos los helmintos y protozoarios de importancia para la salud pública (por ejemplo, no se mencionan las especies de ameba ni *Giardia*), los nematodos intestinales estudiados deben servir de microorganismos indicadores de todos los agentes patógenos sedimentables de mayor tamaño (incluso quistes amebianos). Al parecer, otros agentes patógenos de interés pierden su viabilidad en estanques de retención prolongada. Por ende, en las directrices se supone que todos los huevos de helmintos y quistes de protozoarios se eliminarán en la misma proporción.

Basándose en las pruebas epidemiológicas existentes, se recomienda una directriz sobre la calidad

bacteriológica de una media geométrica de 1.000 coliformes fecales por cada 100 ml para riego sin restricciones de todos los cultivos. Esto se considera tecnológicamente factible. El Grupo llegó a la conclusión de que no se necesita recomendar directrices sobre la calidad bacteriológica cuando los agricultores son el único grupo expuesto, ya que son pocas o nulas las pruebas de que esos trabajadores estén expuestos al riesgo de infección por bacterias. Sin embargo, conviene reducir hasta cierto punto la concentración bacteriana en las aguas residuales empleadas para cualquier fin.

La extinción paulatina natural de los agentes patógenos sobre el terreno constituye otro valioso factor de seguridad para reducir los riesgos potenciales para la salud. La inactivación de agentes patógenos por irradiación de rayos ultravioletas, desecación y depredadores biológicos naturales cuando se emplean efluentes para riego de cultivos y del suelo puede llevar a una reducción suplementaria de 90 a 99% de los agentes patógenos a los pocos días del empleo. Además de este importante factor, al formular las directrices el Grupo Científico tuvo en cuenta los estudios efectuados sobre el terreno y en el laboratorio, los que indicaban que era poco o nulo el número de agentes patógenos detectables en los efluentes de aguas residuales con 1.000 coliformes fecales por 100 ml.

Las nuevas directrices sobre la calidad bacteriológica son compatibles con la calidad real del agua de río empleada para riego sin restricciones de todos los cultivos en muchos países, sin efectos nocivos conocidos. En el cuadro 1 se presentan concentraciones de coliformes fecales típicas en los ríos del mundo basados en datos reportados de 1979 a 1984. En cerca de 45% de los ríos, esas concentraciones eran de 1.000 por 100 ml o más, pero casi 15% tenía concentraciones de coliformes fecales de 10.000 por 100 ml o más. Las aguas de esos ríos se emplean fuera de los Estados Unidos de América para riego sin ninguna restricción legislativa al respecto. En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental y la Academia Nacional de Ciencias recomendaron en 1973 que la norma estableciera 1.000 coliformes totales por 100 ml para riego con agua natural de superficie, incluida la de río.

El Grupo Científico también comparó sus normas anteriores para el riego con aguas residuales y sus directrices sobre el riego de verduras consumidas crudas (2,2-100 coliformes totales por 100 ml) con las directrices y normas vigentes sobre la calidad bacteriológica para determinar la calidad del agua de baño establecidas por el Programa de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo, adscrito al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, conjuntamente con la OMS (1.000 coliformes fecales por 100 ml) y la Comunidad Económica Europea (menos de 10.000 coliformes totales por 100 ml y menos de 2.000 coliformes fecales por 100 ml). Por último, el Grupo concluyó que no es razonable ni lógico mantener las antiguas directrices sobre el riego con aguas residuales, semejantes a las establecidas para el agua potable si las autoridades sanitarias consideran aceptables las aguas naturales de los ríos empleadas para riego y las utilizadas para el baño, cuyas concentraciones de coliformes fecales sean de 1.000 por 100 ml o más.

Sin duda, el empleo irracional de normas excesivamente estrictas para la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego ha llevado a ciertas situaciones anómalas. Usualmente, las normas no se cumplen y han surgido graves problemas de salud pública por el riego con aguas residuales sin tratar, carente de reglamentación y a menudo ilegal, práctica muy difundida en los países en desarrollo. El método recomendado ahora exige la introducción de normas nacionales revisadas,

estrictas y acordes con la realidad para la eliminación de huevos de helmintos, pero las normas son menos exigentes con respecto a las concentraciones bacterianas permisibles. El Grupo consideró que este nuevo método incrementaría la protección de la salud de un público mayor, y al mismo tiempo, permitiría establecer metas que fueran factibles técnica y económicamente.

Sin embargo, los valores de las directrices dadas en el cuadro 1 se deben interpretar con cuidado, y de ser necesario, se deben modificar según los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar. Se puede justificar mayor precaución donde hay grupos expuestos más susceptibles a la infección que la población en general, por ejemplo, las personas carentes de inmunidad a las infecciones endémicas locales. Por otra parte, algunas veces se puede justificar cierto grado de flexibilidad. Por ejemplo, donde los helmintos intestinales no son endémicos, no es necesario eliminar 99,9% de los huevos. Los cultivos comestibles como el tomate para enlatados y el maní para tostar podrían considerarse como cultivos industriales y los campos de deporte que no se pretende usar por muchas semanas después del riego se podrían incluir en la categoría B.

Cuadro 1

**Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura<sup>a</sup>**

| Categoría | Condiciones de aprovechamiento   | Grupo expuesto                      | Nematodos intestinales <sup>b</sup><br>(Media aritmética n de<br>huevo por litro <sup>c</sup> ) | Coliformes fecales<br>(Media geométrica N<br>por 100 ml <sup>c</sup> ) | Tratamiento requerido (para<br>lograr la calidad microbiológica<br>exigida)   |
|-----------|--|-------------------------------------|---|--|---|
| A         | Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos     | Trabajadores, consumidores, público | 1   | 1.000 <sup>d</sup>   | Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente |
| B         | Riego de cultivos de cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles <sup>e</sup>    | Trabajadores                        | < 1   | No se recomienda ninguna norma   | Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales  |
| C         | Riego localizado en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos | Ninguno                             | No se aplica  | No se aplica   | Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, pero no menos que sedimentación primaria                    |

<sup>a</sup> En casos específicos se debería tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo a ello.

<sup>b</sup> Especies *Áscaris* y *Trichuris* y anquilostomas.

<sup>c</sup> Durante el período de riego.

<sup>d</sup> Conviene establecer una directriz más estricta ( $\leq 200$ ) coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.

<sup>e</sup> En el caso de los 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.

Cuadro 2  
Coliformes fecales en los ríos<sup>a</sup>

| N de coliformes fecales por 100 ml | N de ríos en cada región |                           |        |                    |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------|--------------------|
|                                    | América del Norte        | América Central y del Sur | Europa | Asia y el Pacífico |
| < 10                               | 8                        | 0                         | 1      | 1                  |
| 10-100                             | 4                        | 1                         | 3      | 2                  |
| 100-1,000                          | 8                        | 10                        | 9      | 14                 |
| 1,000-10,000                       | 3                        | 9                         | 11     | 10                 |
| 10,000-100,000                     | 0                        | 2                         | 7      | 2                  |
| > 100,000                          | 0                        | 2                         | 0      | 3                  |
| Número total de ríos               | 23                       | 24                        | 31     | 32                 |

<sup>a</sup> No existen datos sobre los ríos de África

Cuando el público tiene acceso directo a prados y parques regados con aguas residuales tratadas, el peligro potencial para la salud pública puede ser mayor que el que presenta el riego de verduras consumidas crudas. El Grupo Científico tomó nota de la investigación epidemiológica de los efectos sanitarios del riego con aguas residuales de jardines ornamentales en Springs, Colorado. Según la investigación, la gente que visitó los parques regados con corrientes residuales, no declaró haber tenido síntomas de trastornos gastrointestinales con frecuencia relativamente mayor que quienes visitaron parques regados con agua potable o que no procedían de escorrentías. No obstante, en el informe del estudio se recomendó una norma de 200 coliformes fecales por 100 ml para efluentes empleados en riego de parques. El Grupo Científico opinó que sería prudente aceptar esta directriz más estricta para los prados públicos. Esta directriz sobre la calidad bacteriológica de los efluentes puede cumplirse de ordinario solo por medio del tratamiento biológico secundario (estanques o tratamiento convencional), seguido de desinfección efectiva. Se necesita tratamiento suplementario para eliminar los huevos de los helmintos, cuando procede.

El valor indicado en la directriz sobre huevos de helmintos en el cuadro 1 es una meta para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales y no una norma que demanda exámenes regulares de la calidad de los efluentes. Actualmente, las técnicas más sensibles para la detección de huevos de helmintos en aguas residuales permiten encontrar, como mínimo, un huevo por litro.

## 2. Directrices sanitarias para la acuicultura

Varias infecciones causadas por agentes patógenos son motivo de preocupación cuando se emplean aguas residuales en acuicultura. Los caracoles acuáticos son huéspedes intermedios de varios parásitos helmínticos, incluida la especie *Schistosoma*. La transmisión puede ocurrir cuando las personas se bañan en estanques de

peces donde hay caracoles infectados, ya que las larvas de los esquistosomas penetran en la piel humana. Ciertas especies de peces son los huéspedes intermedios secundarios de varios parásitos helmínticos, por ejemplo de la especie *Clonorchis* (trematodos). La transmisión ocurre cuando se consume pescado crudo o mal cocido; los quistes que contiene la carne del pescado se incuban en el intestino humano. Algunos helmintos forman quistes en plantas acuáticas comestibles (por ejemplo, la especie *Fasciolopsis* se enquista en el abrojo acuático) y la transmisión puede ocurrir cuando se consume la fruta de la planta. Los peces que crecen en estanques fertilizados con excretas o que contienen aguas residuales también se pueden contaminar con bacterias y virus. Éstos son transportados pasivamente en las escamas o las agallas, el líquido intraperitoneal, las vías digestivas o el músculo de los peces. El pescado que se consume crudo o mal cocido puede transmitir varias infecciones bacterianas o víricas.

Strauss analizó las publicaciones sobre la supervivencia de agentes patógenos en el interior y la superficie del organismo de los peces y llegó a la conclusión de que:

- a) Es probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en estanques con coliformes fecales y Salmonellas en concentraciones superiores a  $10^4$  y a  $10^5$  por 100 ml, respectivamente, y el potencial de invasión muscular aumenta cuando es mayor la exposición de los peces al agua contaminada.
- b) Ciertas pruebas sugieren que hay poca acumulación de organismos entéricos y agentes patógenos en el interior o en la superficie del tejido comestible de los peces, cuando la concentración de coliformes fecales en el agua de los estanques es inferior a  $10^3$  por 100 ml.
- c) Aun cuando la contaminación es menor, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces.

Son limitados los datos de campo y de experimentos sobre los efectos sanitarios del empleo de aguas negras como fertilizantes en acuicultura. Por tanto, se necesita investigar más antes de establecer una norma definitiva sobre la calidad bacteriológica para piscicultura. Se recomienda, con carácter provisional, una directriz sobre la calidad bacteriológica de una media geométrica de  $10^3$  coliformes fecales por 100 ml para estanques de peces. En vista de la dilución de las aguas residuales que ocurre en la mayoría de esos estanques, se puede tratar las aguas que alimentan el estanque hasta lograr una concentración de coliformes fecales de  $10^3$  a  $10^4$  por 100 ml. Convendría aplicar la misma norma sobre coliformes fecales al agua de estanques en donde se cultivan verduras acuáticas (macrofitas) porque en algunas zonas se consumen crudas.

Esta directriz sobre la calidad bacteriológica, basada en el conocimiento actual sobre el uso de aguas residuales en acuicultura, debería prevenir la invasión del músculo de los peces. Los microorganismos patógenos acumulados en las vías digestivas y líquido intraperitoneal de los peces pueden presentar un riesgo de contaminación de la carne y otras partes comestibles del pescado, ocurriendo la transmisión a los consumidores si no se observan las debidas normas de higiene en su preparación. Por lo tanto, en beneficio de la salud pública, se debe asegurar el cumplimiento de estrictas normas de higiene durante el manejo del pescado, sobre todo durante la evisceración. Esto se puede lograr con mayor facilidad en las operaciones comerciales antes que en la acuicultura de subsistencia y se necesitarán programas continuos de educación para la salud. La práctica de cocinar el pescado, común en muchas regiones donde se emplean aguas residuales en acuicultura, es una importante medida de protección de la salud.

Se sabe que la transmisión de la clonorquiasis y la fasciolopsiasis, dos infecciones causadas por helmintos, ocurre solo en limitadas zonas del Asia Oriental. Dada la preferencia cultural en algunas de estas zonas por el consumo de verduras acuáticas y pescado crudos, la transmisión solo se puede prevenir impidiendo la entrada de huevos al estanque o mediante el control de los caracoles. Esto último resulta poco probable en la práctica, sobre todo en los pequeños estanques de subsistencia comunes en Asia. Por ello, el único medio de control factible consiste en eliminar todos los huevos viables de trematodos de las aguas residuales antes de que entren a los estanques. Será preciso eliminar la viabilidad de todos los huevos porque los parásitos se multiplican asexualmente en gran escala dentro de su primer huésped intermedio. Existen consideraciones similares para el control de la esquistosomiasis, enfermedad endémica en una zona mucho más extensa. Por lo tanto, la directriz apropiada sobre el contenido de helmintos para el uso de aguas residuales en acuicultura es la ausencia de huevos viables de trematodos. Ese requerimiento se logra fácilmente con el tratamiento en lagunas.

### 3. Guías para sustancias químicas presentes en aguas residuales

En 1993 la OMS elaboró un documento preliminar con la guía de límites máximos para sustancias químicas presentes en las aguas residuales a ser utilizadas en riego. La preocupación es que en muchas ciudades del mundo existe una mezcla de efluentes domésticos e industriales, lo cual constituye un factor de riesgo para la salud que debe tomarse en cuenta en los proyectos de uso de aguas residuales. Los metales pesados, por ejemplo, pueden bioacumularse a través de la cadena alimentaria. Además, los productos generados con el uso de aguas residuales pueden constituir un riesgo para la salud de los consumidores si en los efluentes existe una concentración elevada de estos compuestos.

El documento preliminar elaborado por el profesor A. Chang de la Universidad de California, Riverside, plantea las siguientes recomendaciones:

- a. Los efluentes terciarios y secundarios de comunidades que tienen un programa efectivo de pretratamiento de efluentes industriales pueden aplicarse en los cultivos sin ninguna restricción si la cantidad usada está de acuerdo con los requerimientos de agua del cultivo.
- b. Las aguas residuales y lodos tratados contienen una cantidad significativa de contaminantes químicos. Su aplicación en el terreno debe restringirse, al igual que en la cadena alimentaria humana. Al aplicarse en el terreno se deben seguir las mejores prácticas agronómicas para la irrigación y la fertilización, y la concentración del contaminante en el suelo no debe exceder ciertos valores límites.
- c. La exposición a la contaminación, las condiciones del suelo, los hábitos dietéticos y las rutas de exposición difieren considerablemente en todo el mundo. Por ello, es difícil establecer límites numéricos que se apliquen adecuadamente de manera universal. En lugar de concentrarse en el desarrollo de límites numéricos, los lineamientos de la OMS para la aplicación de residuos en el terreno deben enfatizar el desarrollo de una metodología para evaluar el destino y transporte de los contaminantes a través de diferentes rutas, y en los datos técnicos para realizar tal evaluación. De esta manera se podrá evaluar de manera independiente los riesgos humanos a la salud asociados con cada caso de aplicación de residuos en el terreno.

A manera de ejemplo, se muestra en el cuadro 3 algunos valores límites existentes en la bibliografía.

La concentración máxima se basa en una tasa de aplicación al agua acorde con buenas prácticas de irrigación (10,000 m<sup>3</sup>/h/año). Si la tasa de aplicación de agua excede considerablemente esta cantidad, las concentraciones máximas deben ajustarse en forma descendente. No se requiere ningún ajuste si la cantidad es menor de 10,000 m<sup>3</sup>. Los valores consideran el uso continuo del agua en un terreno. (Adaptado de National Academy of Sciences (1972) y Pratt (1972).

Cuadro 3

**Niveles máximos para metales en cultivos agrícolas**

| Elemento      | Concentración Máxima Recomendada (mg/l) | Observaciones   |
|---------------|---|---|
| Al (Aluminio) | 5,0                                     | Puede anular la productividad en suelos ácidos (pH < 5,5), pero los suelos más alcalinos con un pH > 7,0 precipitan el ión y eliminan la toxicidad.   |
| As (Arsénico) | 0,10                                    | La toxicidad a las plantas puede variar considerablemente, desde 12 mg/l para el césped de Sudán hasta menos de 0,05 mg/l para el arroz.  |
| Be (Berilio)  | 0,10                                    | La toxicidad a las plantas puede variar considerablemente, desde 5 mg/l para la col rizada hasta 0,5 mg/l para el frijol bush.  |
| Cd (Cadmio)   | 0,01                                    | Es tóxico para los frijoles, remolacha y nabos en concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l en soluciones de nutrientes. Se recomiendan límites conservadores por su acumulación en plantas y suelos en concentraciones dañinas al ser humano.                        |
| Co (Cobalto)  | 0,05                                    | Tóxico para las plantas del tomate en soluciones de nutrientes a 0,1 mg/l. Tiende a inactivarse en suelos alcalinos o neutros.  |
| Cr (Cromo)    | 0,10                                    | Generalmente no se le reconoce como un elemento esencial para el crecimiento. Se recomiendan límites conservadores debido a la falta de conocimiento sobre su toxicidad a las plantas.  |
| Cu (Cobre)    | 0,20                                    | Tóxico a diversas plantas de 0,1 a 1,0 mg/l en soluciones de nutrientes.  |
| F (Flúor)     | 1,0                                     | Se inactiva en suelos neutros o alcalinos.  |
| Fe (Hierro)   | 5,0                                     | No es tóxico a las plantas en suelos aerados, pero puede contribuir a la acidificación y pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno esenciales. El riego por aspersión puede formar depósitos desapercibidos en las plantas, equipo y edificaciones aledañas. |
| Li            | 2,5                                     | Es tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l, es móvil en el suelo y tóxico para los cítricos en concentraciones bajas (<0,075 mg/l). Actúa de   |

| Elemento                                     | Concentración Máxima Recomendada (mg/l) | Observaciones  |
|--|---|--|
| (Litio)                                      |   | manera similar al boro.  |
| Mn (Manganeso)                               | 0,20                                    | Es tóxico para diversos cultivos en pocas décimas o en pocos mg/l, pero generalmente solo en suelos ácidos.  |
| Mo (Molibdeno)                               | 0,01                                    | No es tóxico para las plantas en concentraciones normales en el suelo y agua. Puede ser tóxico para el ganado si el forraje crece en suelos con altas concentraciones de molibdeno disponible.   |
| Ni (Níquel)                                  | 0,20                                    | Tóxico para diversas plantas desde 0,5 mg/l hasta 1,0 mg/l; la toxicidad se reduce en suelos neutros o alcalinos.  |
| Pb (Plomo)                                   | 5,0                                     | En altas concentraciones puede inhibir el crecimiento de las células de las plantas.   |
| Se (Selenio)                                 | 0,02                                    | Es tóxico a las plantas en concentraciones tan bajas como 0,025 mg/l y tóxico al ganado si el forraje crece en suelos con niveles relativamente altos de selenio añadido. Es un elemento esencial para los animales pero en concentraciones muy bajas. |
| Sn (Estaño)<br>Ti (titanio)<br>W (Tungsteno) |   | Las plantas lo excluyen efectivamente; se desconoce la tolerancia específica.  |
| V (Vanadio)                                  | 0,10                                    | Tóxico para diversas plantas en concentraciones relativamente bajas.   |
| Zn (Zinc)                                    | 2,0                                     | Tóxico para muchas plantas en variadas concentraciones; la toxicidad se reduce a pH > 6,0 y en suelos orgánicos de fina textura.   |

#### 4. Normas existentes en los países que favorecen el uso de aguas residuales

La comunidad científica ha elaborado criterios de calidad, los cuales son utilizados por organismos como la FAO y la OMS para elaborar las pautas de calidad que se han mencionado anteriormente (ej. lineamientos de Engelberg) y a su vez, los gobiernos pueden utilizarlos para establecer normas de calidad que se aplican de manera coactiva en los países mediante leyes y reglamentos.

En general, estas normas o pautas de calidad de las aguas residuales para uso en riego de cultivos especifican las normas explícitas (ej. concentración máxima de coliformes) y en algunos casos el tratamiento mínimo requerido, de acuerdo con la clase de cultivo que se va a regar. En el cuadro 5 se muestra un ejemplo de normas microbiológicas vigentes para la reutilización de aguas residuales en riego.

Cuadro 4  
Ejemplos de normas microbiológicas vigentes para aguas  
residuales utilizadas en el riego de cultivos

| País           | Riego restringido  | Riego sin restricciones   |
|----------------|--|---|
| Omán           | Máximo 23 CT/100 ml <sup>a</sup><br>Media <2,2 CT/100 ml<br>Únicamente riego de zonas verdes   | No se permite el riego de cultivos  |
| Kuwait         | Menos de 10.000 CT/100 ml  | < de 100 CT/100 ml<br>No se permite el riego en el caso de verduras para ensalada o frescas       |
| Arabia Saudita | Se permite el uso del efluente secundario para forraje, cultivos de secano, verduras tratadas para su consumo y también para regar jardines.                         | < de 2,2 CT/100 ml<br>< de 50 CF/100 ml <sup>b</sup>  |
| Túnez          | Árboles frutales, forraje y verduras que se consumen cocinadas<br>- Tratamiento secundario (incluida cloración)<br>- Ausencia de <i>Vibrio cholerae</i> y Salmonelas | No se permite el riego de verduras que se comen crudas  |
| México         | Para zonas recreativas:<br>< de 10.000 CT/100 ml<br>< de 2.000 CF/100 ml   | Para verduras que se comen crudas y frutos en posible contacto con el suelo: < de 1.000 CT/100 ml |
| Perú           | Tratamiento específico según el tipo de reutilización  | No se riegan los cultivos de poca altura, tubérculos ni raíces que pueden comerse crudos          |

<sup>a</sup> CT: Coliformes totales

<sup>b</sup> CF: Coliformes fecales

Fuente: Mara, D. 1990.

## Referencias bibliográficas

- Mara, D.; Cairncross, S.; 1990. *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud; 1989. *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (Serie de informes técnicos 778).
- Pescod, M.B. 1992. *Wastewater and use in agriculture*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO Irrigation and drainage paper 47).
- Sáenz Forero, R. 1987. *Predicción de la calidad del efluente de lagunas de estabilización*. Lima: CEPIS. (Hojas de divulgación técnica 38).
- Sáenz Forero, R. 1994. *Riego y salud; modernización y avances en el uso de aguas negras para la irrigación, intercambio de aguas, uso urbano y riego*. Washington, DC: OPS.
- Moscoso, J.; León Suemastu, G. 1992. *Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan. Sección II: Tratamiento de aguas residuales y aspectos sanitarios*. Lima: CEPIS.
- Chang, A.; Asano, T. 1993. *Background document for chemical guidelines for land application of wastes; preliminary draft*. University of California.