

ANEXO B

CALIDAD SANITARIA – MICROBIOLOGIA

1. INTRODUCCION

Las aguas residuales de origen doméstico son consideradas un recurso valioso como sustituto del agua fresca empleada en riego (Wescot, 1987). Sin embargo, hay que considerar que uno de los objetivos de los programas de reuso es asegurar la protección de la salud pública y las aguas servidas pueden contener una variedad y cantidad de agentes patógenos excretados, productores de infecciones, que pueden contaminar directa o indirectamente a los agricultores, consumidores y población cercana (Ayres, 1997; Blumenthal, 2000a).

En la Tabla 1 se presenta un listado de los agentes patógenos (bacterias, protozoos, virus y helmintos) posibles de contaminar las aguas y las infecciones que producen.

La supervivencia de los patógenos excretados en el agua, suelo y superficie de los cultivos ha sido extensamente estudiada. Se sabe que existen amplias variaciones producto de factores físicos, químicos biológicos, climáticos, genéticos y otros (Feachem, 1980; Strauss, 1985). Las pruebas existentes indican que casi todos los agentes patógenos excretados sobreviven en el suelo lo suficiente para representar un peligro a los agricultores, mientras que en los cultivos el periodo es menor, pero igualmente riesgoso, en especial en el caso de los helmintos, tanto para los trabajadores, como los consumidores. En la Tabla 2 se muestra la supervivencia de algunos patógenos en el suelo y superficie de los cultivos.

La concentración de patógenos, el conocimiento del comportamiento en el ambiente, la estimación de la dosis infectante y respuesta del huésped no son suficientes para desechar el uso del de aguas residuales en riego, ya que estos datos determinan el riesgo potencial de producción de la infección. La forma más apropiada para evaluar este efecto es conocer el riesgo real o atribuible, que se determina mediante estudios epidemiológicos asociados, en este caso, con la respuesta de la población susceptible. En el riego con aguas servidas los principales grupos de riesgo lo conforman los consumidores de los cultivos (riesgo al consumidor) y los obreros agrícolas expuestos durante el trabajo (riesgo ocupacional).

Lo más recomendable es tratar el agua servida previo al uso; bajo estas condiciones el riesgo epidemiológico disminuye, pero no desaparece del todo. Un aspecto que además influye en la producción de infecciones es el sistema de aplicación del agua. Uno de ellos es el riego por aspersión, que forma aerosoles donde se dispersan principalmente virus y bacterias, que pueden infectar a los trabajadores por inhalación y contaminar la superficie de los cultivos, afectando al consumidor (USEPA 2004).

Una revisión de la literatura científica, excluyendo el uso de aguas no tratadas y con tratamiento primario, indicó que los casos de infección por el riego con aguas servidas tratadas en los Estados Unidos no es un problema de salud pública relevante; no ocurre lo mismo en países en desarrollo donde los cultivos regados con aguas residuales pobremente tratadas que se comercializan en el mercado constituyen una importante fuente de infecciones entéricas (Shuval, 1997).

Tabla 1
Agentes infecciosos potenciales presentes en aguas servidas domésticas.

Bacteria <i>Shigella</i> spp. <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella</i> spp. (1700 serotipos) <i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> enteropatógena <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Leptospira</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Helicobacter pylori</i>	Disentería bacilar Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Gastroenteritis, septicemia, síndrome hemolítico ureico Yersiniosis Leptospirosis Gastroenteritis, artritis reactiva Gastroenteritis, úlcera gástrica y duodenal
Protozoa <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Microsporidia</i> <i>Cyclospora cayentanensis</i>	Disentería amebiana Giardiasis, gastroenteritis Criptosporidiasis Diarrea Trastornos intestinales
Helmintos <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ancylostoma</i> spp. <i>Necator americanus</i> <i>Strongiloides stercoralis</i> <i>Trichuris trichuria</i> <i>Taenia</i> spp. <i>Enterobius vermicularis</i> <i>Echinococcus granulosus</i> spp.	Ascariasis Ancylostomiasis Necatoriasis Estrongiloidiasis Trichuriasis Teniasis Enterobiasis Hidatidosis
Virus Enterovirus (polio, ECHO, Coxsackie, nuevos enterovirus, serotipo 68-71) Hepatitis A y E Adenovirus Rotavirus Parvovirus Norovirus Astrovirus Calicivirus Coronavirus	Gastroenteritis, meningitis, cardiopatías, otras Hepatitis infecciosa Infecciones respiratorias, oculares, gastroenteritis Gastroenteritis Gastroenteritis Diarreas, vómitos, fiebre Gastroenteritis Gastroenteritis Gastroenteritis

Fuente: Adaptación del National Research Council, USA. 1996

En la actualidad no existen en USA guías o estándares de uso de aguas recicladas o desinfectadas basados en análisis de riesgos usando como modelo microorganismos patógenos. En el estado de Florida se han aplicado algunos modelos que sugieren niveles de virus entre 0,04 a 14 por 100 L⁻¹ (dependiendo del tipo de virus); oocistos viables de *Cryptosporidium* de 22 por 100 L⁻¹, y quistes de *Giardia* de 5 por 100 L⁻¹ (York and Walter-Colerman, 1999). La evaluación de riesgos basada en modelos epidemiológicos jugará en el futuro un importante papel en el desarrollo de normativas más realistas.

Tabla 2
Periodo de supervivencia de ciertos agentes patógenos excretados en el suelo y superficie de los cultivos a 20-30°C

Agente patógeno	Periodo de supervivencia	
	En el suelo	En los cultivos
Virus		
Virus entéricos (polio, ECHO, Cocksackie)	<100, comúnmente <20 d	<60, comúnmente < 15 d
Bacterias		
Coliformes fecales	<70, comúnmente < 20 d	<30, comúnmente < 15 d
<i>Salmonella spp</i>	<70, comúnmente < 20 d	<30, comúnmente < 15 d
<i>Vibrio cholerae</i>	<20, comúnmente < 10 d	<5, comúnmente < 2 d
Protozoos		
Quistes <i>A. histolytica</i>	<70, comúnmente < 20 d	<10, comúnmente < 2 d
Helmintos		
Ovas de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muchos meses	<60, comúnmente < 30 d
Ovas de <i>Taenia saginata</i>	Muchos meses	<60, comúnmente < 30 d
Ovas de <i>Trichuris trichuria</i>	Muchos meses	<60, comúnmente < 30 d

Fuente OMS (1989)

2. REGULACIONES PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN RIEGO

2.1 Guías en uso en los Estados Unidos

En USA, la USEPA (2004) ha establecido estrictas medidas de uso para las aguas de riego irrestricto. Se requiere (i) ausencia (o cero) de bacterias coliformes fecales en 100 mL de agua para cultivos de consumo crudo, y además se exige tratamiento secundario, filtración y desinfección; (ii) para uso restricto, que incluye riego de cultivos que pudieran ser consumidos sin cocinar, la exigencia es la no detección de coliformes fecales en 100 mL y (iii) para riego de productos que se consumen cocidos o para forraje se acepta un nivel de 200 coliformes fecales por 100 mL. Es obligación de cada Estado de imponer sus propias normativas, por lo que diferentes estados escogen diferentes planteamientos. Si el riego es superficial se acepta entre 10 a 1000 coliformes fecales para cultivos no restrictos, y si el riego es por aspersión el nivel de exigencia baja entre 2,2 – 200 coliformes fecales por 100 mL.

La mayoría de las agencias regulatorias de USA ha escogido no realizar estudios epidemiológicos como base para establecer los estándares de calidad del agua (Crook, 1998). El estado de California es uno de los que tiene los estándares más estrictos; exige <2,2 coliformes totales por 100 mL para riego de cultivos comestibles, (que se obtiene por tratamiento secundario, filtración y desinfección) y <23 coliformes totales por 100 mL para riego de forraje y paisajismo (obtenido por tratamiento secundario y desinfección).

2.2 Guías de Calidad Microbiológica de Uso de Aguas Servidas Tratadas en Agricultura. OMS. Informe Técnico 778 (1989).

Uno de los documentos más utilizados a nivel mundial para la regulación del uso de efluentes tratados en agricultura es el Reglamento 778 publicado por la Organización Mundial de la Salud en 1989. Esta guía fue propuesta por un Comité de Científicos convocados por la OMS, basada en una exhaustiva revisión de los datos epidemiológicos y microbiológicos existentes a esa fecha. En la Tabla 3. se reproducen los criterios microbiológicos recomendados. El objetivo es resguardar la salud de los trabajadores, consumidores y el público en general.

Tabla 3
Directrices recomendadas sobre calidad microbiológica de aguas residuales para riego en agricultura.

Categoría	Aprovechamiento	Grupo expuesto	Nematodos intestinales ¹	Coliformes fecales ²
A	Cultivos de consumo crudo; campos deportes; parques públicos	Trabajadores, Consumidores Público	≤ 1 ovas viables L ⁻¹ (media aritmética)	≤ 1000 NMP 100 mL ⁻¹ (media geom)
B	Cultivos cereales, industriales, forrajeros, praderas, árboles	Trabajadores	≤ 1 ovas viables L ⁻¹ (media aritmética)	No aplicable
C	Riego localizado de cultivos de la Cat. B, sin exposición humana	Ninguno	No aplicable	No aplicable

OMS 1989. Reporte Técnico 778, Ginebra

Se observa que el parámetro microbiológico base regulado corresponde a los helmintos, subproducto de las pruebas epidemiológicas obtenidas. Para muchos países en desarrollo los principales riesgos reales para la salud asociados al uso era la helmintiasis.

Cabe destacar que los estudios prácticos indican que las concentraciones de helmintos raras veces son superiores a 1000 L⁻¹, aún en zonas endémicas.

La guía hace hincapié que los nemátodos intestinales regulados (*Ascaris*, *Trichuris* y *Anquilostoma*) deben servir de microorganismos indicadores de todos los agentes patógenos sedimentables de menor tamaño, incluidos los quistes amebianos); el Comité opina que otros agentes patógenos de interés pierden viabilidad. Las directrices recomiendan el tratamiento que se estimaba necesario, en la época de estudio de las guías para lograr la calidad microbiológica recomendada.

2.3 Guías para Calidad Microbiológica de aguas servidas tratadas usadas en agricultura: Revisión de las recomendaciones de las Guías de la OMS, 1989.

(Blumenthal et al. 2000 a y b).

Debido a que la escasez de agua dulce está aumentando en ciertas regiones áridas del mundo, la Organización Mundial de la Salud, está considerando incentivar el reuso de las aguas residuales como nuevas fuentes de agua, para ciertos usos. Uno de ellos corresponde al uso de

las aguas servidas tratadas en la agricultura. Después de más de una década de la publicación de las guías de efluentes en riego, orientado principalmente a reducir riesgos en salud pública asociados a esta práctica (Informe Técnico 778, 1989), la OMS solicitó a un Comité de Científicos la revisión y actualización de esta guía microbiológica para reuso.

A continuación se presenta un extracto del documento elaborado por los científicos, quienes basan sus opiniones en nuevos modelos para el establecimiento de este tipo de guías; resultados epidemiológicos actualizados, y la generación de un modelo cuantitativo de evaluación de riesgos para ciertos patógenos, a fin de evidenciar riesgos aceptables asociados al uso de aguas servidas tratadas en agricultura.

2.4 Proposición de revisión (modificación) de las guías WHO (1989).

La proposición de modificación de las citadas guías se basó en la combinación de la evidencia de riesgos en la salud ocasionados por el uso de las aguas servidas, avalada por estudios epidemiológicos, y estudios de la transmisión de patógenos seleccionados de acuerdo al modelo QMRA (Quantitative microbial risk assessment), aplicado para infecciones virales derivadas del reuso de aguas servidas aplicado por Asano, (1992) en California. Estos estudios permiten medir la exposición real que ocurre dentro del tiempo y no dependen de una dosis media estimada diaria, ni del análisis dosis-respuesta basado en experiencias con voluntarios sanos desde donde se extrapolan los datos que proporcionan estimados de efectos en dosis bajas.

En la Tabla 4 se presentan las guías microbiológicas propuestas por el estudio de Blumenthal et al (2000), para las guías OMS 1989 sobre uso de efluentes de aguas servidas en agricultura.

El estudio también discute sobre la necesidad de incorporar guías para protozoos y virus. Según estudios epidemiológicos, en el caso de los virus, una forma de evitar el riesgo de transmisión de infecciones virales se puede controlar mediante el sistema de irrigación, privilegiando el riego por aspersión (Suba et al. 1989, Aman, 1988), respecto al de inundación superficial, aunque en éste último sistema se observa dependencia del nivel de coliformes (Blumenthal et al. 1998). Respecto a los protozoos, existe poca información, pero aparentemente no constituyen mayor riesgo.

En síntesis, el estudio de revisión de las directrices de la OMS relativas a la actividad microbiológica de las aguas residuales tratadas para uso en agricultura concluye lo siguiente:

- Para riego sin restricción hay evidencias que avalan la validez de la guía de coliformes fecales actual de 1000 CF por 100 mL, por lo tanto no se aprecian evidencias que sugieran la necesidad de modificarla.
- Hay evidencias epidemiológicas que demuestran que la guía de 1 huevo de nematodo por L no es adecuada en condiciones que favorecen la supervivencia de los huevos (bajas temperaturas medias, riego superficial), por lo que es necesario revisar la disminución propuesta a 0,1 huevo por L.

Tabla 4
Guías microbiológicas recomendadas para uso de aguas residuales tratadas en agricultura. Proposición a OMS (2002)

Categoría	Condiciones de reuso	Grupo expuesto	Técnica de riego	Nemátodos intestinales	Coliformes fecales
A	Riego irrestricto: A1 Vegetales y ensaladas de consumo crudo; campos deportivos; parques públicos	Trabajadores Consumidores Público	Cualquiera	$\leq 0,1$ ovas viables L^{-1} (media aritmética)	$\leq 1000/100\text{ mL}^{-1}$ (media geom)
B	Riego restringido Cultivo de cereal; cultivo industrial; cultivo de forraje; pasto; árboles	B1 Trabajadores no < 15 de años; comunidades cercanas B2 Trabajadores B3 Trabajadores incluyendo < de 15 años; comunidades cercanas	Spray o aspersión Inundar o surco Cualquiera	≤ 1 ovas viables L^{-1} (media aritmética) id $\leq 0,1$ ovas viables L^{-1} (media aritmética)	$\leq 100000/100\text{ mL}^{-1}$ (media geom) $\leq 1000/100\text{ mL}^{-1}$ (media geom) id
C	Riego localizado de cultivos en categoría B si no hay trabajadores, ni público expuesto	Ninguno	Goteo, chorro, bombeo	No aplicable	No aplicable

Fuente: Blumenthal et al. 2000

- Para riego restringido hay evidencias que afirman la necesidad de incluir los coliformes fecales, para proteger los trabajadores agrícolas, sus niños y la población cercana de infecciones entéricas virales y bacterianas. La guía apropiada dependerá del método de riego aplicado y de quienes están expuestos. Por ej., si los expuestos son trabajadores agrícolas adultos y se riega por aspersión, la guía de $\leq 10^5$ CF por 100 ml es necesaria. Una guía más reducida de $\leq 10^3$ por 100 mL ofrece garantías cuando los trabajadores son adultos y hay menores de 15 años expuestos (por trabajo y juego), y el riego es por inundación o por surco. La guía de ≤ 1 huevo de nematodo se considera adecuada siempre que no hayan niños expuestos; en ese caso se recomienda disminuir la guía a $\leq 0,1$ huevo por L.
- El riesgo de exposición de la población depende del método de riego usado. El riego a la salud es mayor cuando los cultivos de riegan por aspersión. Y el riesgo a los trabajadores es

mayor cuando el riego se realiza por inundación o surcos. La guía propuesta toma en cuenta este riesgo.

La evidencia revisada no apoya la necesidad de separar guías para proteger específicamente contra las infecciones ocasionadas por enterovirus, pero los datos existentes son insuficientes para evaluar la necesidad de guías específicas para protozoos patógenos.

Hay tres diferentes planteamientos para establecer guías de calidad microbiológica y estándares para uso de aguas residuales tratadas en agricultura, las cuales tienen como resultados diferentes objetivos. (i) la ausencia de organismos indicadores de origen fecal en las aguas residuales (ii) no medir un exceso de casos en la población expuesta, (iii) generar un modelo que tenga la capacidad de estimar el riesgo por debajo del riesgo aceptable. Estas conclusiones fueron basadas en el uso del enfoque (ii) , usando estudios epidemiológicos empíricos complementados por estudios microbiológicos de transmisión de patógenos, en conjunto con el planteamiento (iii), usando un modelo cuantitativo microbiano para evaluar el riesgo de patógenos seleccionados.

El uso de un enfoque de control de enfermedades debe ser considerado para elaborar estándares del país, especialmente donde las condiciones económicas limitan el nivel de tratamiento de las aguas residuales. En este caso el objetivo debería ser proteger la población contra el aumento de las infecciones. Esto podría resultar en el relajo de las guías microbiológicas y el uso de otras medidas de protección a la salud para suplementar el tratamiento.

La restricción de cultivos, técnicas de riego, control de la exposición humana e intervención de quimio-terapéuticos deberían ser consideradas en conjunto dentro de las medidas de protección a la salud, cuando el tratamiento de las aguas servidas es parcial. En ciertos casos, la intervención de la comunidad a través de programas de protección a la salud es de gran apoyo, en particular cuando no existe tratamiento

En Chile no existe una normativa específica para reuso de aguas servidas domésticas o efluentes tratados en agricultura. En general este uso se basa en la norma INN 1333 Of 78, modif. 87, Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

En el punto.6.2. Requisitos bacteriológicos, la norma establece que: “el contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al consumo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes decales/100 mL”. Este requisito no tiene más base que lo descrito en la literatura extranjera.

Existen publicaciones anteriores al año 1995 que demuestran que las aguas superficiales de agua de riego en la zona más poblada del país (Región Metropolitana) no cumplían la normativa (Cuchacovich, 1991; Shuval, 1993; Monreal, 1992I). Esto porque en esa época el tratamiento de las aguas servidas era incipiente. Un estudio realizado por Ferreccio et al., (1984), demostró que la producción de fiebre tifoidea en Chile se relaciona con el consumo de cultivos regados con aguas servidas sin tratamiento que se disponen en el río. En verano, cuando se usa mayor cantidad de agua en riego, la tasa de infección en Santiago es muy alta, comparada con el resto del país, donde las aguas de riego son de mejor calidad sanitaria.

A partir del 2001, el tratamiento de las aguas servidas ha aumentado significativamente; el tratamiento de riles está normado (Decreto 609, MOP; 1988, modif. 2004; Decreto 90, Conama,

2000), y comienza a ser controlado, por lo que se espera que las aguas superficiales usadas en riego estén recibiendo menores descargas de aguas residuales sin tratar. Aún no se han reportado resultados de estudios sobre el impacto en la calidad de las aguas superficiales subproducto del tratamiento, ni de las nuevas normativas vigentes. Se espera que en los próximos años el saneamiento de las aguas servidas en Chile será una etapa superada, y el riego en agricultura se verá favorecido por una significativa mejoría en la calidad del agua, lo que debería trascender en la disminución de las endemias asociadas al consumo de cultivos hortícolas, que aquejan a la población.

Es importante estar informado sobre las nuevas tendencias en el control sanitario de las aguas para riego que se proponen por las agencias y organismos internacionales de salud, y emprender estudios para conocer la representatividad de las recomendaciones internacionales, a nivel local.

Referencias

- Asano, T., Leong L.Y.C., Rigby, M. G., Sakagi, R.H.. 1992. Evaluation of the California Wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. Wat. Sci. Tech. 26(7-8), 1513-1524.
- Ayres Rachel M & D. Duncan Mara. Analysis of Wastewater for Use in Agriculture.
- Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. World Health Organization, Geneva, 1996. 1-35 pgs.
- Ayres R.S. and Wescot D.W. 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper. Cap.7.
- Blumenthal Ursula J., Anne Peasey, Guillermo Ruiz-Palacios and Duncan D. Mara. 2000a. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquiculture: recommended revisions based on new research evidence. Task N° 68 Part 1. WELL Report: 1-67 pgs.
- Blumenthal Ursula J., Duncan D. Mara, Anne Peasey, Guillermo Ruiz-Palacios, and Rebeca Stott. 2000b. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising W.H.O. guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 2000b, 78(9) : 1104-1116.
- CONAMA. D.S. N° 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia - Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- Crook, J. 1998. Wastewater reclamation and reuse criteria. In: Wastewater reclamation and reuse (ed. T. Asano), pp. 489-520. Lancaster, PA. Technomic Publishing Co.
- Cuchacovich, J.C. 1992. Planning for controlling the quality of irrigation water destined for vegetables production in Chile. In: Westcot D.W. Quality of wastewater for irrigation crop production. 1997. FAO, Rome, Report 10, M-56.
- Feachem R.G. 1983. Sanitation and Disease: health aspects of excreta and wastewater management. John Wiley, Chichester.

- Ferreccio, C., Levinem M.M., Manterola, AA., Rodríguez, G., Rivara, I., Prentzel, R.E., Black, T., Mancuso, and Bulas, D. 1984. Bening bacteremia due to *Salmonella typhi* from irrigation water in Santiago, Chile. Journal of Onfectiuos Diseases 149:640-642.
- Instituto Nacional de Normalización, INN. 1987. NCH 1333 Of. 78. Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos.
- Ministerio de Obras Públicas. 1998. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. Decreto 609/98, modificado el 15 de julio 2004.
- Monreal J. 1993. Estudio de caso de Chile. Evolución de la morbilidad entérica en Chile luego de la aplicación de medidas de restricción de cultivos en zonas regadas con aguas servidas. Workshop on Health Agriculture and Environmental Aspects of Wastewater Use. (WHO/FAO/UNEP/UNCHS), Juitepec, México.
- National Research Council. 1996. Use of reclaimed water and sludge in food crop irrigation. National Academy Press, Washington, D.C.
- Organización Mundial de la Salud. 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de agua residuales en agricultura y acuicultura, Informe de un Grupo Científico de la OMS. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra.
- Shuval H.I. 1993. Investigation of typhoid fever and cholera transmission by raw wastewater irrigation in Santiago, Chile. Wat. Sci. Tech. 27(3-4):167-174.
- Shuval, H., Lampert, Y. and Fattal, B. 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standard for agriculture. Wat. Sci. Tech. 35(11/12) 15-20.
- Strauss, M. 1985. Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part II pathogen survival. IRCWD Report No 04/85.
- US Environmental Protection Agency (USEPA) 2004. Guidelines for water reuse.
- Technological transfer and support division national risk management research laboratory office of research and development. Cincinnati, OH.
- Wescot D.W. 1997. Quality control of wastewater for irrigation crop production.
- Water reports-10. California Regional Water Quality Control. Board, Sacramento, California, USA. FAO.
- York, D.W., and L. Walker-Coleman. 1999. Is it time for pathogens standard ?. Proceeding of the 1999 Florida Water Resources Conference. AWWA, FPCA, and FW&PCOA, Tallhassee, Florida.