



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe

Estado, principios y necesidades



Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe

Estado, principios y necesidades

Editado por:

Javier Mateo-Sagasta

Anteriormente FAO (Oficial Técnico de la División de Tierras y Aguas)

actualmente IWMI (Líder del Grupo de Investigación de Agua, Salud y Nutrición)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Santiago de Chile, 2017

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-309906-1

© FAO, 2017

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO apruebe los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org. Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Foto Portada libro: ©FAO/Giuseppe Bizzarri

ÍNDICE

Abreviaturas	vii
Agradecimientos	xi
Prefacio	xiii
1. CONTEXTO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	1
1.1. ¿De qué trata esta publicación?	
1.2. Un vistazo a la región	
1.3. Crecimiento demográfico y urbanización	
1.4. Escasez de agua y estrés hídrico	
1.5. Agricultura urbana y periurbana	
1.6. Contaminación por las aguas residuales municipales	
1.7. Referencias	
2. PRODUCCIÓN, TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	9
2.1. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales	
2.2. Potencial en la reutilización	
2.3. Reutilización real en agricultura (formal e informal)	
2.4. Referencias	
3. LOS BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS Y EJEMPLOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	21
3.1. Beneficios para la agricultura	
3.2. Beneficios para las ciudades	
3.3. Beneficios para el medio ambiente	
3.4. Referencias	
4. MITIGACIÓN DE RIESGOS EN LOS SISTEMAS DE USO AGRÍCOLA DE AGUAS RESIDUALES Y EJEMPLOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	29
4.1. Riesgos para la salud y mitigación de riesgos	
4.2. Riesgos medioambientales fuera de la explotación agrícola y mitigación de riesgos	
4.3. Riesgos agronómicos en la explotación agrícola y mitigación de riesgos	
4.4. Referencias	
5. ASPECTOS ECONÓMICOS E INSTITUCIONALES EN LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS Y EJEMPLOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	43
5.1. Economía de reutilización de aguas residuales	
5.2. Desafíos institucionales y políticos	
5.3. Referencias	
6. DESARROLLO DE CAPACIDADES PARA UN USO MÁS SEGURO Y PRODUCTIVO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	56
6.1. Principios	
6.2. Capacidades necesarias en América Latina y el Caribe	
6.3. Referencias	

1	Argentina
2	Bolivia
3	Brasil
4	Chile
5	Colombia
6	Ecuador
7	El Salvador
8	Haití
9	Honduras
10	México
11	Paraguay
12	Perú
13	República Dominicana
14	San Cristóbal y Nieves
15	Uruguay
16	Fuentes

CUADROS

Cuadro 2.1.	Cobertura de saneamiento mejorado en determinados países de ALC en 2015
Cuadro 2.2.	Cobertura de sistemas de recolección de aguas residuales (red pública de alcantarillado) en determinados países de ALC
Cuadro 2.3.	Producción y tratamiento de aguas residuales municipales en determinados países de ALC
Cuadro 2.4.	Composición típica de las aguas residuales municipales sin tratar
Cuadro 2.5.	Contenido potencial de determinados recursos en las aguas residuales municipales producidas en ALC
Cuadro 2.6.	Uso directo de aguas residuales tratadas en agricultura para determinados países de ALC
Cuadro 2.7.	Uso indirecto de aguas residuales en agricultura para determinados países de ALC
Cuadro 3.1.	Incremento de la producción agrícola por el uso de aguas residuales en Tacna, Perú (TM/ha)
Cuadro 4.1.	Ejemplos de diferentes tipos de peligros asociados con el uso de aguas residuales municipales en la agricultura de los países en vías de desarrollo
Cuadro 4.2.	Métodos utilizados para evaluar los riesgos para la salud
Cuadro 4.3.	Ejemplos de organismos indicadores de patógenos humanos en aguas residuales
Cuadro 4.4.	Tolerancia de algunos cultivos a la salinidad
Cuadro 5.1.	Comparación del coste y eficacia de distintos sistemas de tratamiento de aguas
Cuadro A.1.	Disponibilidad y usos de agua en Argentina
Cuadro A.2.	Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Argentina
Cuadro A.3.	Parámetros microbiológicos para la reutilización del agua en Mendoza y Puerto Madryn
Cuadro A.4.	Disponibilidad y usos de agua en Bolivia
Cuadro A.5.	Producción y tratamiento de aguas residuales en Bolivia
Cuadro A.6.	Disponibilidad y usos de agua en Brasil
Cuadro A.7.	Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Brasil
Cuadro A.8.	Disponibilidad y usos de agua en Chile
Cuadro A.9.	Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Chile
Cuadro A.10.	Disponibilidad y usos de agua en Colombia
Cuadro A.11.	Producción y tratamiento de aguas residuales en Colombia
Cuadro A.12.	Disponibilidad y usos de agua en Ecuador
Cuadro A.13.	Disponibilidad y usos de agua en El Salvador
Cuadro A.14.	Recolección y tratamiento de aguas residuales en El Salvador

Cuadro A.15. Disponibilidad y usos de agua en Haití
Cuadro A.16. Disponibilidad y usos de agua en Honduras
Cuadro A.17. Disponibilidad y usos de agua en México
Cuadro A.18. Producción, recolección, tratamiento y uso de aguas residuales en México
Cuadro A.19. Disponibilidad y usos de agua en Paraguay
Cuadro A.20. Disponibilidad y usos de agua en el Perú
Cuadro A.21. Disponibilidad y usos de agua en la República Dominicana
Cuadro A.22. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en República Dominicana
Cuadro A.23. Disponibilidad y usos de agua en San Cristóbal y Nieves
Cuadro A.24. Disponibilidad y usos de agua en Uruguay

FIGURAS

Figura 1.1. Crecimiento poblacional y urbanización en determinados países de América Latina y el Caribe, desde 1980-2012
Figura 1.2a. Precipitación anual media en América Latina y el Caribe
Figura 1.2b. Escasez física de recursos hídricos en las principales cuencas fluviales en América Latina y el Caribe
Figura 2.1. Comparación gráfica de la superficie regada de manera directa e indirecta con agua residual tratada y no tratada en la región de América Latina y Caribe
Figura 3.1. Ejemplo simplificado de intercambio de aguas intersectorial bajo condiciones de escasez
Figura 4.1. Enfoque de barreras múltiples y su aplicación en el riego con aguas residuales
Figura 4.2. Reservorio de Carapongo, Perú
Figura 4.3. Crianza de peces en el reservorio de Carapongo, Perú
Figura 5.1. Análisis financiero versus análisis económico en proyectos de reutilización de aguas
Figura 5.2. Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Mapocho, finalizada en el año 2012
Figura 6.1. Visión holística del Desarrollo de Capacidades Institucionales
Figura 6.2. Entidades participantes en la Comisión Mixta de trabajo, Bolivia
Figura A.1. Filtro de aguas grises (izqda.) y huertos regados con aguas grises en Suyapa, Honduras (dcha.)

RECUADROS

Recuadro 3.1. Esquema “ganar-ganar-ganar” con la reutilización e intercambio de aguas en San Luis Potosí, México
Recuadro 3.2. Oasis recreacional creado por aguas residuales tratadas en Lima, Perú
Recuadro 4.1. Estanques simples y de bajo costo para reducir la contaminación de hortalizas y promover la acuicultura en Lima, Perú
Recuadro 5.1. El sostenimiento del tratamiento de aguas residuales para una reutilización segura en Santiago de Chile, Chile
Recuadro 5.2. Familiarizando a los niños con la reutilización de aguas urbanas en Lima, Perú
Recuadro 5.3. Innovaciones para fomentar el enfoque descentralizado de reutilización de aguas residuales – ejemplos de estudios de caso de EE.UU.
Recuadro 6.1. Plataforma intersectorial para el diagnóstico y la planificación de la reutilización segura en Bolivia
Recuadro 6.2. Empoderamiento de mujeres en el medio rural al encabezar proyectos de reutilización de agua en Brasil

Abreviaturas

ADERASA	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas
ALC	América Latina y el Caribe
ANA	Agencia Nacional de Aguas (Brasil)
ANA	Autoridad Nacional del Agua (Perú)
APPCC	Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAASD	Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (República Dominicana)
CAF	Corporación Andina de Fomento
CAWT	<i>Coalition for Alternative Wastewater Treatment</i>
CE	Conductividad Eléctrica
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFE	Comisión Federal de Electricidad (México)
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídricos (Brasil)
COHIFE	Consejo Hídrico Federal (Argentina)
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua (México)
DBO5	Demanda Biológica de Oxígeno 5 días
DGA	Dirección General de Aguas (Chile)
DIEA	Dirección de Estadísticas Agropecuarias (Uruguay)
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas (Uruguay)
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente (Uruguay)
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECONSSA	Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (Chile)
EcoSan	Saneamiento Ecológico (<i>Ecological Sanitation</i> en inglés)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FOCARD-APS	Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento
GWI	Global Water Intelligence
IBGE	Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (Brasil)
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Colombia)

INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos (Argentina)
INDRHI	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (República Dominicana)
IWMI	Instituto Internacional para la Gestión del Agua (por su sigla en inglés)
ICID	Comisión Internacional de Riego y Drenaje (sigla en inglés)
JMP	Joint Monitoring Program for Water and Sanitation
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (El Salvador)
MGAP	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (Uruguay)
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia)
MVOTMA	Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (Uruguay)
NMP	Número más probable
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OSE	Obras Sanitarias del Estado (Uruguay)
PMAR	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Colombia)
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROSAB	Programa de Investigación en Saneamiento Básico (Brasil)
PTAR	Plana de Tratamiento de Aguas Residuales
QCRA	Evaluación Cuantitativa de Riesgos Químicos (sigla en Inglés)
QM(C)RA	Evaluación Cuantitativa de Riesgos Microbianos (o Químicos) (sigla en inglés)
RAFA	Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente
SAGUAPAC	Cooperativa de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Santa Cruz (Bolivia)
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua (Ecuador)
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios (Chile)
STAR	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Perú)
Superservicios	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Colombia)
SST	Sólidos en Suspensión Totales
UN-DESA	Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (sigla en inglés)
ONU-Agua	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
VIVIENDA	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (Perú)
WSP	Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial (sigla en inglés)

Agradecimientos

Esta publicación es el resultado del esfuerzo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Internacional para la Gestión del Agua (IWMI) en promover una gestión integrada de los recursos hídricos en el marco de la seguridad alimentaria y los objetivos de Desarrollo Sostenible. La idea de esta publicación surgió tras el taller regional sobre “Desarrollo de capacidades para un uso más seguro y productivo de las aguas residuales en Latino América y el Caribe”, celebrado en Lima, Perú, en diciembre de 2012 en el marco de la iniciativa de ONU-Agua sobre Uso Seguro de Aguas Residuales en Agricultura. Desde entonces hasta hoy la publicación se ha beneficiado de los aportes y apoyo de un importante número de individuos e instituciones especializadas:

Conceptualización, coordinación y edición técnica: Javier Mateo-Sagasta²

Autores:

Capítulo 1: J. Mateo-Sagasta, G. González, J. Liebe

Capítulo 2: J. Mateo-Sagasta, G. González, A. Thebo

Capítulo 3: J. Mateo-Sagasta, G. González, J. Moscoso

Capítulo 4: B. Keraita, J. Mateo-Sagasta, M. Qadir, K. Medlicott, P. Drechsel, B. Lamizana

Capítulo 5: J. Mateo-Sagasta, M. Qadir, P. Drechsel, M. A. Hanjra

Capítulo 6: J. Liebe, J. Mateo-Sagasta

Anexo 1: Autores en orden alfabético: M.S. Aguirre Pajuelo, H.B. Aime, M.C. Ballón Jameque, H.L. Cabrera, S.M. Campos Infante, I. Chapman, B. Chung Tong, S. Delgado, M. Garcés, G. González, S. Lagner, L.A. Leguizamón, L. de León Hernandez, J. Lopera Gómez, J. Mateo-Sagasta, L.G. Marka, J. Moscoso, B.C. Olarte, C. Paillés, P.M. Paredes, A.L. Pérez, N. Reyes, L. A. Romero, M. Romero, J.C. Rocha, P. Roman, C. Siebe, G. Suazo, N. de la Uz, J. R. Vilches.

Revisores: Laura Meza (apoyo editorial técnico FAO), Pilar Román (ONU-Ambiente), Julio Moscoso (consultor internacional especialista en reutilización de aguas residuales), Natalia Pulido de la Uz (consultora del IWMI)

Diseño gráfico y diagramación: Mariana Young

Instituciones involucradas en financiar la preparación del informe: FAO e WLE¹/ IWMI

Instituciones impulsoras de la iniciativa de ONU-Agua sobre Uso Seguro de Aguas Residuales en Agricultura: la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU-Medio Ambiente), el Instituto de la Universidad de las Naciones Unidas para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud (UNU-INWEH), el Instituto Internacional para la Gestión del Agua (IWMI), la Comisión Internacional de la Irrigación y el Saneamiento (ICID) y el programa de ONU-Agua para el Desarrollo de Capacidad (UNW-DPC)

Instituciones involucradas en la organización del taller regional sobre “Desarrollo de capacidades para un uso más seguro y productivo de las aguas residuales en Latino América y el Caribe”, celebrado en Lima, Perú, en diciembre de 2012: la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Perú y el Programa de ONU-Agua para el Desarrollo de Capacidad (UNW-DPC)

¹ Programa de agua, tierras y ecosistemas del CGIAR liderado por el IWMI

² En su calidad de Oficial Técnico de la División de Tierras y Aguas en la FAO. Actualmente, es Líder del Grupo de Investigación de Agua, Salud y Nutrición de IWMI.

Prefacio

La región de América Latina y el Caribe es la más urbanizada del mundo. Se estima que los asentamientos urbanos de la región producen más de 30 km³ de agua residual cada año. Estas aguas ricas en nutrientes serían suficientes para regar y fertilizar millones de hectáreas de cultivos, mejorando su productividad y liberando agua dulce para otros usos. Sin embargo, la utilización planificada de efluentes urbanos tratados es todavía una excepción.

La FAO y el IWMI reconocen que apoyar la reutilización de aguas para una agricultura sostenible, productiva y saludable es una importante contribución a la Agenda 2030, mediante una economía verde y circular en la que el agua y los residuos se gestionan como activos económicos, minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente y mejorando el acceso y el uso de agua de calidad para todos los actores involucrados.

Esta publicación debuta en la Semana Mundial del Agua 2017, que aborda el tema “Agua y residuos: reducir y reutilizar”. Este evento se centra en un desafío clave para el cual dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) han fijado metas ambiciosas: ODS 6, meta 3: “de aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”, y ODS 12, meta 5: “ 12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización”.

La Agenda 2030 da un nuevo impulso al tratamiento de aguas residuales y su reutilización segura. Sin embargo, su puesta en marcha, requiere a su vez de medidas precisas para evitar riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. En este contexto, un creciente número de países están iniciando el desarrollo o bien fortaleciendo sus capacidades para lograr un uso más seguro y más productivo de éste recurso no convencional.

Este informe ha incorporado información actualizada de cientos de fuentes y ha contado con la participación de un gran número de expertos nacionales e internacionales de diferentes disciplinas. El informe está dirigido a una audiencia amplia, incluyendo organizaciones internacionales de desarrollo, gobiernos, sociedad civil, profesionales, estudiantes y medios de comunicación. Esta amplia audiencia podrá conocer mejor el estado de la reutilización de aguas en la región, identificar ejemplos exitosos y promover la reutilización segura y productiva de una manera más informada. Los gobiernos y agencias de desarrollo podrán usar la publicación para identificar los retos técnicos, económicos e institucionales en los actuar para favorecer una reutilización segura. Los profesionales del sector privado y público encontrarán un compendio de principios que les ayudarán en el diseño e implementación de proyectos y políticas de reutilización de aguas.

CAPÍTULO 1

Contexto de la reutilización de aguas residuales municipales en América Latina y el Caribe

Javier Mateo-Sagasta, Gerardo González, Jens Liebe



La utilización de efluentes urbanos para el riego de cultivos es una realidad que practican millones de pequeños agricultores en áreas urbanas y periurbanas en muchas partes del mundo, incluyendo la región de América Latina y el Caribe (ALC). A lo largo de las últimas décadas, distintos factores han ido favorecido la expansión de esta práctica, con multitud de referencias por toda la región (Jiménez, 2008; García-Giménez, 2010; WWAP, 2017). La utilización de efluentes urbanos es reconocida como alternativa viable para aumentar la disponibilidad local de recursos hídricos y por su aporte de nutrientes-fertilizantes para las plantas, sin embargo, la puesta en marcha de esta actividad requiere a su vez de determinadas medidas para evitar riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

1.1 ¿De qué trata esta publicación?

Esta publicación busca principalmente tres objetivos: (i) Proporcionar la mejor información disponible sobre la producción y destino de los efluentes urbanos en países clave de América Latina y el Caribe, incluyendo la generación, recolección, tratamiento y uso de efluentes urbanos en agricultura, así como las políticas, acuerdos institucionales y aspectos económicos que los sustentan; (ii) Mostrar las oportunidades de considerar los efluentes urbanos como un recurso y los principios clave para evaluar y mitigar los riesgos de su uso en agricultura; (iii) Evaluar las capacidades que se necesitarían desarrollar para maximizar oportunidades y minimizar riesgos y, por tanto, lograr un uso más seguro y productivo de los efluentes urbanos en ALC.

El informe trata sobre las aguas residuales municipales¹ (tratadas o sin tratar) y su uso (directo o indirecto) en agricultura. Otros tipos de aguas residuales, como los drenajes agrícolas, y otros tipos de uso, como la reutilización en industrias o en usos domésticos, quedan fuera del alcance de esta publicación.

En el capítulo 1 se revisan las causas principales que favorecen que cientos de miles de agricultores en la región rieguen con aguas residuales, tratadas o sin tratar. El capítulo 2 resume la situación regional de la producción, tratamiento y utilización de los efluentes urbanos y ofrece una estimación aproximada de los recursos (nutrientes, agua y energía) que se podrían recuperar de estas aguas. El capítulo 3 discute los beneficios de la utilización, tanto para la agricultura como para las ciudades y el medio ambiente, e ilustra estos beneficios con casos concretos en países latinoamericanos. Los riesgos para salud asociados al riego con aguas residuales, así como las principales medidas para su mitigación, se recogen en el capítulo 4. El capítulo 5 aborda los retos económicos, institucionales y políticos más importantes que enfrentan los proyectos de reutilización y ofrece estrategias y ejemplos para superarlos. Finalmente, el capítulo 6 revisa las capacidades que es necesario desarrollar en la región para hacer una utilización más segura y productiva de las aguas residuales. Además, el informe incluye un completo anexo con resúmenes para quince países de Latino América y el Caribe, con datos sobre la disponibilidad y uso de aguas; producción, tratamiento y utilización de efluentes urbanos; políticas, instituciones e investigación relacionada, y las capacidades que se pueden desarrollar para hacer la reutilización más segura y productiva.

Este informe está dirigido a una audiencia amplia, incluyendo organizaciones regionales e internacionales de desarrollo, gobiernos, sociedad civil, profesionales, estudiantes y medios de comunicación. Esta amplia audiencia podrá conocer el estado de la reutilización de aguas en la región, identificar ejemplos exitosos y promover la reutilización segura y productiva de una manera más informada. Los gobiernos y agencias de desarrollo podrán usar la publicación para identificar los retos técnicos, económicos e institucionales en los que se puede actuar, para favorecer proyectos de reutilización segura. Los profesionales del sector privado y público encontrarán un compendio de principios que les ayudarán en el diseño e implementación de proyectos y políticas de reutilizaciones de aguas.

La idea de este informe surgió en el taller regional sobre “Desarrollo de capacidades para un uso más seguro y productivo de las aguas residuales en Latino América y el Caribe”, celebrado en Lima, Perú, entre el 9 y 16 de diciembre de 2012 (más información disponible en <http://www.ais.unwater.org/>

wastewater). La información facilitada por los participantes del taller se ha complementado con una extensa revisión de bibliografía y estadísticas, así como con las propias experiencias de los autores de los diferentes capítulos.

1.2 Un vistazo a la región

América Latina y el Caribe ocupa un territorio aproximado de 21 069 500 km², alrededor del 14.1% de la superficie terrestre del planeta (Banco Mundial, 2011). Esta región está conformada por los 8 países de América Central y 14 de América del Sur, además de los 24 Estados Insulares del Caribe (UN-DESA, 2009).

La región ha experimentado un crecimiento demográfico importante y un fuerte aumento en el número y tamaño de sus ciudades. Aun cuando la pobreza persiste en un 24.4%² de la población (PNUD, 2016), los ingresos han aumentado y con ello están cambiando los hábitos de consumo y las dietas. Cada vez se consume más agua potable y más productos intensivos en el uso de agua para su producción. Como consecuencia la demanda de agua crece rápido, mientras que los recursos hídricos disponibles están estáticos o en disminución, lo que está provocando problemas locales de escasez hídrica, a veces temporales y otras veces crónicos, particularmente en algunas zonas de Chile, Argentina, Brasil, Perú, México y algunas islas del Caribe.

El crecimiento demográfico y la urbanización también generan una mayor producción de aguas residuales. De hecho, estas aguas residuales son de los pocos “recursos” cuya disponibilidad va a crecer en las próximas décadas. La capacidad de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, aunque también está creciendo, no se desarrolla al mismo ritmo, y por tanto la mayoría de los efluentes urbanos se vierten al medio ambiente sin tratar. La gran cantidad de contaminantes procedentes de las ciudades está transformando muchos cauces de agua de la región en ríos de aguas residuales más o menos diluidas (Jouravlev, 2004; ONU-Medio Ambiente, 2016; WWAP, 2017), lo que supone importantes riesgos para los ecosistemas y las comunidades que se abastecen de esas aguas.

La combinación de una demanda de agua creciente, especialmente en agricultura, y una disponibilidad de agua limpia cada vez menor está impulsando un uso cada vez mayor de fuentes de aguas no convencionales, como los efluentes urbanos. El uso de estos efluentes en la agricultura puede ser planificado, con aguas tratadas y con prácticas de riego seguras; pero, también puede ser una práctica peligrosa para los agricultores y los consumidores cuando se usan sin tratar de una forma directa (sin diluir) o indirecta (aguas residuales diluidas) (Mateo-Sagasta *et al.*, 2015). Las zonas urbanas y periurbanas de la región son “puntos críticos” de reutilización, ya que el agua es particularmente escasa y está frecuentemente contaminada por los desechos urbanos, lo que empuja a una dura competencia por el agua limpia, que es destinada a sectores prioritarios como los usos domésticos, o con mayor capacidad de pago como los usos industriales, quedando frecuentemente las aguas de calidad marginal para la agricultura.

1.3 Crecimiento demográfico y urbanización

Desde principios del siglo pasado, la región ha experimentado un crecimiento demográfico masivo. La población casi se ha multiplicado por 10, desde los 60 millones de habitantes a principios de 1900 (ONU-Habitat, 2012) hasta más de 600 millones en la actualidad.

Cerca del 80% de su población se concentra en zonas urbanas y ALC es actualmente considerada como la región más urbanizada en el mundo. Mientras que en la década de 1950 dos tercios de la población - aproximadamente 160 millones de habitantes - vivían en zonas rurales, la región experimentó la mayor velocidad de urbanización entre las décadas de 1950 y 1990, cuando el porcentaje de población establecida en ciudades aumentó del 40 al 70 por ciento. Aunque en las últimas décadas el nivel de urbanización se ha ralentizado, algunas estimaciones sostienen que en 2050 alrededor del 90% de la población de la región se concentrará en las ciudades (ONU-Habitat, 2012).

1.2 Definición de ingresos monetarios por día menores a 4 dólares por persona en 18 países de ALC.

La Figura 1.1 muestra la relación entre el crecimiento poblacional y la urbanización en algunos de los países de América Latina y el Caribe, desde 1980 hasta 2012. Países como Argentina, Chile, Venezuela y Uruguay ya tienen más del 90% de habitantes urbanos. Con excepción de algunos países insulares en el Caribe, como por ejemplo San Cristóbal y Nieves, la mayoría de países en ALC experimentaron una gran urbanización durante los últimos 30 años, incluso cuando el crecimiento demográfico global ha sido bajo o moderado.

El crecimiento demográfico y la rápida urbanización han venido aumentando a nivel local la desigualdad entre el abastecimiento y la demanda de agua, elevando la presión sobre los recursos hídricos disponibles. Particularmente en entornos urbanos y periurbanos, donde la presión sobre estos recursos es alta, los efluentes urbanos son considerados como una valiosa fuente de agua y de nutrientes para los agricultores, que proliferan para abastecer las crecientes demandas de alimentos en los mercados urbanos.

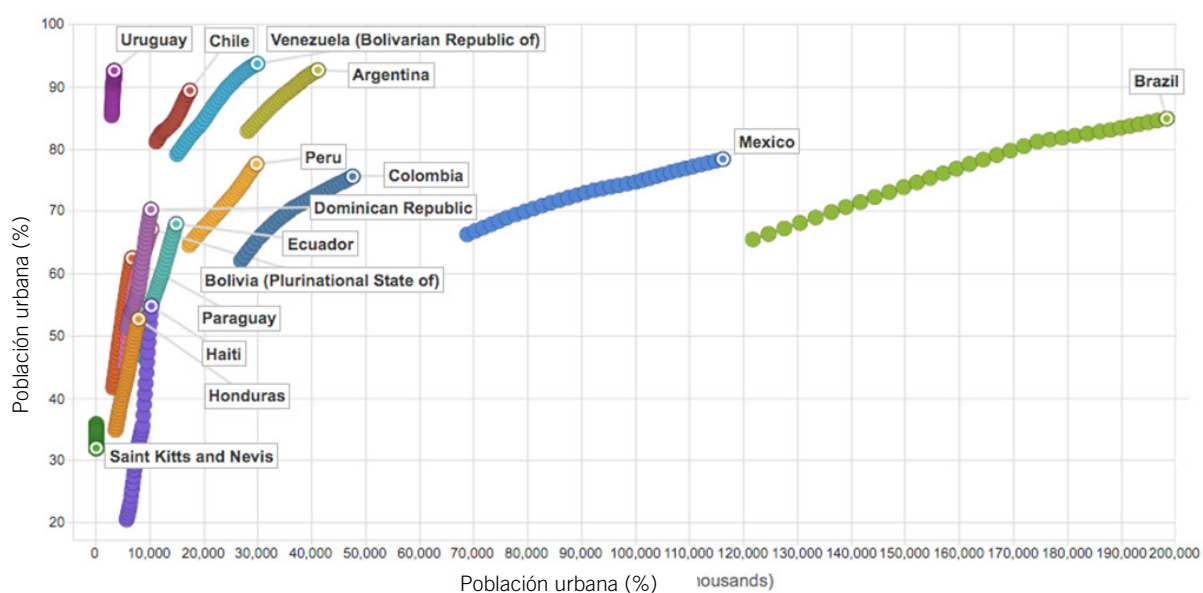


Figura 1.1. Crecimiento poblacional y urbanización en determinados países de América Latina y el Caribe, desde 1980-2012. (Fuente: PNUD, 2014)

1.4 Escasez de agua y estrés hídrico

América Latina y el Caribe es rica en recursos hídricos; aun cuando su área representa sólo el 15% de la superficie terrestre del planeta recibe el 30% de la precipitación global. No obstante, la distribución de los recursos hídricos es extremadamente desigual, ya que existe una amplia diversidad climática que genera una enorme variedad espacial de regímenes hidrológicos (Figura 1.2a). Estas características climáticas resultan en importantes variaciones interanuales e inter-estacionales en la disponibilidad de agua.

En contraste con la alta disponibilidad de agua, la región de ALC sólo alberga al 10% de la población mundial, resultando en una media regional de recursos hídricos por persona de 28 000 m³/hab/año, cifra mucho más alta que la media mundial, y mucho mayor que el umbral de estrés hídrico de 1 700 m³/hab/año (Falkenmark *et al.*, 1989). Sin embargo, al igual que con los recursos hídricos, la población no está distribuida uniformemente en la región. En áreas pobladas, pero con recursos hídricos limitados podría no haber agua suficiente para todos los usos (doméstico, agrícola, industrial, recreativo y medioambiental), provocando escasez y estrés hídrico. En ALC, la escasez y el estrés hídrico están impactando partes de México, Haití, República Dominicana, El Salvador, Ecuador, Perú, Chile, Argentina y el noreste de Brasil (Figura 1.2b).

A escala nacional, numerosos países poseen también una gran variabilidad interna respecto a disponibilidad hídrica y demanda de agua. Un ejemplo es Chile, donde las regiones del norte muestran características de desierto mientras las regiones del sur como Magallanes tienen una disponibilidad de 2 millones de m³/hab/año. Otro ejemplo es Ecuador, que en su vertiente pacífica concentra el 19% de los recursos hídricos totales y el 88% de la población, mientras que su vertiente amazónica dispone del 81% del agua total y tan sólo a un 12% de sus habitantes. Otros países de menor superficie también pueden acusar estas diferencias climáticas, como el caso de República Dominicana, donde existe una clara división entre una estación seca (diciembre a marzo) y otra lluviosa (mayo a noviembre). Muchos países de la región, aunque sin problemas permanentes de escasez, sufren periodos de sequía cada vez más frecuentes agravados por el cambio climático, como las sequías de 2012 que afectaron a los cultivos brasileños y argentinos de soja y maíz, que padecieron una aridez particular que los afectó significativamente.

En las áreas que sufren la escasez de agua, o en las épocas de sequía, el uso de aguas no convencionales, tales como los efluentes urbanos tratados, son una opción cada vez más relevante para aumentar la disponibilidad de recursos hídricos y alcanzar un mejor equilibrio entre el suministro y la demanda de agua.

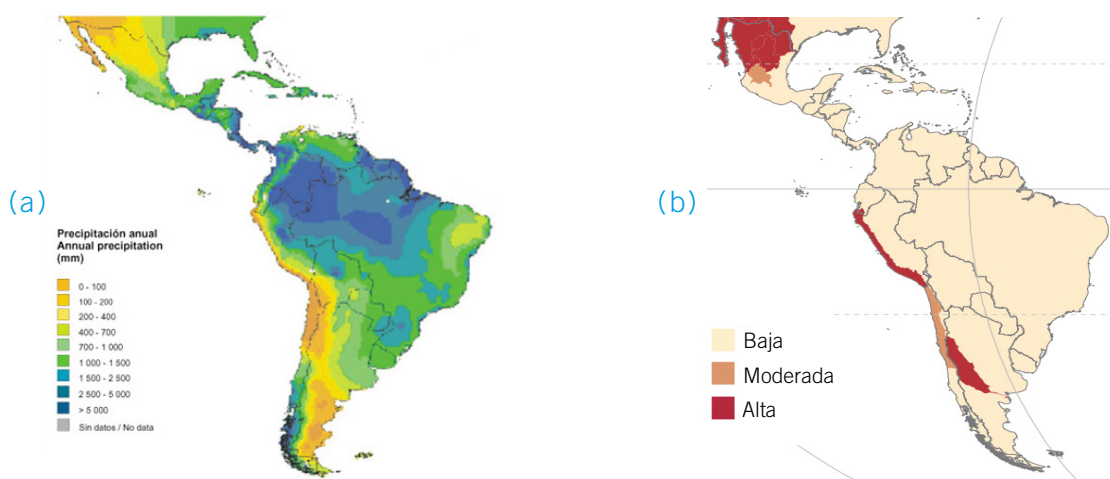


Figura 1.2. (a) Precipitación anual media en América Latina y el Caribe (b) Escasez física de recursos hídricos en las principales cuencas fluviales en América Latina y el Caribe. (Fuente: FAO, 2011)

1.5 Agricultura urbana y periurbana

La agricultura es el mayor usuario de agua en ALC. De acuerdo con FAO-AQUASTAT (2016) se estima que a nivel regional, el 73% de la extracción del agua se atribuye a la agricultura. En América del Sur este porcentaje se eleva hasta el 91%, exceptuando Brasil y Colombia que utilizaron respectivamente el 61% y 53% para fines agrícolas. Por otra parte, del total de superficie irrigada en ALC, se estima que aproximadamente el 10% se encuentra dentro de los espacios urbanos, más del 30% en un perímetro de 10 km alrededor de las ciudades y casi el 50% en un radio de 20 km. Además las producciones irrigadas cerca de las ciudades son más intensivas, con más rotación de cultivos por año (Thebo *et al.*, 2014).

Estos datos sugieren que la agricultura urbana y periurbana, que usa grandes cantidades de agua, juegan un papel relevante en la seguridad alimentaria y nutricional de la región (FAO, 2014). Por su cercanía a las ciudades, la agricultura urbana y periurbana presenta retos y oportunidades. Retos relacionados fundamentalmente con la seguridad de los alimentos, que son regados con aguas contaminadas, y oportunidades, porque permiten cultivar cerca de las ciudades donde la demanda de alimentos no para

de crecer y porque favorece la recuperación de recursos (agua y nutrientes) de los efluentes urbanos para su reutilización.

1.6 Contaminación por las aguas residuales municipales

Aunque ALC es rica en agua, muchos de sus recursos hídricos están contaminados, particularmente las aguas aledañas a las ciudades. Estas aguas contaminadas son frecuentemente utilizadas en sistemas de producción agrícola, suponiendo un serio riesgo para la salud humana y de los ecosistemas.

Los ríos de esta región están siendo contaminados por distintas actividades, incluyendo industrias, agricultura y minería, pero no hay duda de que las ciudades son uno de los mayores contribuyentes. Se estima que entre 261 000 y 327 000 km de ríos en ALC, lo que equivale a un 25% de los cursos de agua, están severamente contaminados, pues su concentración de coliformes fecales se estima superior a 1 000 NMP/100 ml (ONU-Medio Ambiente, 2016). La contaminación por las aguas residuales municipales se relaciona con el alto ritmo de urbanización, la falta de tratamiento de aguas residuales y la ausencia de políticas efectivas sobre el control de la contaminación (BID, 2007). En México, en tan sólo en 20 cuencas hidrográficas (de un total de 218), que albergan al 93% de la población, se genera el 89% de la carga contaminante total. En Perú, se informa de 52 cuencas comprometidas por la contaminación a causa del vertido de aguas residuales municipales. La situación es crítica también en El Salvador, donde más del 90% de sus ríos están degradados como resultado del vertido de aguas residuales sin tratar. Y éstos son sólo ejemplos de una situación común en toda la región. De hecho, todavía el 17% de la población en ALC no tienen sistemas de saneamiento mejorados (OMS-UNICEF, 2015) y un número mucho mayor no está conectado a ninguna planta de tratamiento de aguas residuales.

Según informa OMS-UNICEF (2015), en ALC existen cinco países (Nicaragua, El Salvador, Panamá, Bolivia y Haití) en donde al menos el 25% de sus habitantes no disponen de instalaciones de saneamiento mejorado. Aunque se haya casi duplicado la cobertura de tratamiento de aguas residuales desde 1990, (Jouravlev, 2017); aún al menos 60% del total de las aguas residuales no recibe tratamiento antes de ser vertida (FAO-AQUASTAT, 2016). Además, la población urbana ha aumentado en un 150% durante las últimas dos décadas. Se espera que la tasa de crecimiento de la población urbana se mantenga de manera que aumente en un 130% para 2025 y 166% hacia 2050 (FAO, 2014). Por el contrario, la cobertura de saneamiento y depuración de las aguas residuales ha crecido más despacio, ampliando la brecha y aumentando las cargas de efluentes urbanos sin tratar a los cuerpos de agua (OPS, 2011).

La contaminación fecal es uno de los problemas más serios en las masas de agua superficiales. Se pueden emplear organismos indicadores, como los coliformes, para detectar la presencia de materia fecal en los recursos hídricos, ocasionada directamente por los vertidos de aguas residuales urbanas sin tratar. En el caso de Brasil, un estudio reveló que en 2010 el 53% de un total de 8 019 muestras de aguas superficiales no eran aptas para riego de hortalizas (concentración de coliformes termotolerantes³ menor a 1 000 NMP/100 ml) (ANA, 2012a). En El Salvador, se han ido desarrollando desde 2006 diversos análisis sobre la calidad de las aguas en 55 ríos del país, con 123 lugares de monitoreo. Los resultados de 2011 indicaron que el 74% de las muestras no cumplían con la normativa relativa a riego para cultivos (p.ej. concentración de coliformes termotolerantes \leq 1 000 NMP/100 ml) (MARN, 2013). Otro ejemplo es el Río Rímac (Perú), que pertenece a la cuenca hidrográfica más importante del país y que suministra agua a más del 30% de la población. Se estima además que al menos 15% de sus recursos hídricos se emplean en agricultura. No obstante, este es uno de los más contaminados del país: un examen de calidad de las aguas desarrollado en 2012 determinó que en 11 de los 21 puntos de muestreo la concentración de coliformes termotolerantes era superior a la norma para el riego no restringido (p.ej. 1 000 NMP/100 ml), coincidiendo en su mayoría con la parte baja de la cuenca (ANA, 2012b).

En aquellos lugares con baja cobertura en saneamiento y tratamiento, los cauces de agua se han convertido en “ríos de aguas residuales”, que luego se utilizan para regar cultivos, praderas, frutales y sistemas forestales. Esta es una realidad en América Latina y el Caribe, sin embargo, estas aguas también contienen los nutrientes que las plantas necesitan para crecer, y esto conduce a que numerosos

1.3 Bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C. Son conocidas también por coliformes fecales debido a su cometido como indicadores fecales (OMS, 2008).

agricultores continúen utilizando lo que se conoce como “agua fertilizada” a un costo bajo. Por lo tanto, se necesitan fuertes inversiones en infraestructura, capacitación y buenas prácticas, para prevenir la contaminación y hacer un uso más seguro y productivo de los efluentes urbanos ricos en nutrientes.

1.7 Referencias

ANA (Agencia Nacional de Aguas). 2012a. *Surface freshwater quality in Brazil: outlook 2012: executive summary*. ANA. Brasilia

ANA (Agencia Nacional de Aguas). 2012b. *Evaluación de los resultados de la calidad del agua en el ámbito de la cuenca del Río Rímac*. ANA. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Perú.

Banco Mundial. 2011. South to South Knowledge Exchange. (Disponible en <http://wbi.worldbank.org/sske/news/2011/08/30/latin-america-and-caribbean>) (Accedido en 01/03/2013)

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) 2007. *Iniciativa de agua potable y saneamiento*. BID. (Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1090009>)

Falkenmark, M., Lundquist, J. & Widstrand, C. 1989. Macro-scale Water Scarcity Requires Micro-scale Approaches: Aspects of Vulnerability in Semi-arid Development. *Natural Resources Forum* 13(4), 258-267

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. *El riego en América Latina y el Caribe en cifras*. FAO. Vol. 20 de Informes sobre temas hídricos. Exp. 20 Informes sobre temas hídricos. ISSN 1020-1203.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. FAO. Roma y Earthscan, Londres.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014 *Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe. Un informe de la FAO sobre agricultura urbana y periurbana en la región*. FAO. Roma

FAO-AQUASTAT. 2016. Sistema de información global sobre el agua de la FAO. Accedido en 2016 (Disponible en línea en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>)

García-Giménez, J. 2010. *Experiencias en prácticas de manejo de aguas servidas para la producción agrícola a pequeña escala. Recomendaciones de políticas públicas en el ámbito local*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) & Instituto de Fomento de la Región de Murcia (INFO). Santiago de Chile.

Jiménez, B. 2008. Water reuse overview for Latin America and Caribbean. Chapter 9. En: Jiménez, B., Asano, T. editors. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. IWA Publishing. Londres.

Jouravlev, A. 2004. *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Serie recursos naturales e infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile.

Jouravlev, A. 2017. Capítulo 13: América Latina y el Caribe. En. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. *Informe de Calidad de Agua de los ríos de El Salvador*. MARN. Dirección General del Observatorio General. (Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/descargas/informe-de-calidad-de-agua-de-los-rios-de-el-salvador-2013/>)

Mateo-Sagasta, J. Raschid-Sally L and Thebo A. 2015. Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use en Drechsel *et al.* (eds). *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World. Wastewater, 3-14*.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2008. *Guidelines for Drinking-water Quality: Incorporating first and second addenda*. Vol. 1. 3ra Edición. OMS (Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf?ua=1).

OMS-UNICEF (Organización Mundial de la Salud y UNICEF). 2015. 25 años de progreso en saneamiento y abastecimiento de agua potable Actualización de 2015 y evaluación de los ODM. Organización Mundial de la Salud y UNICEF. (Disponible en http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

ONU-HABITAT. 2012. *State of Latin America and Caribbean Cities 2012: Towards a new urban transition*. Organización de las Naciones Unidas. Nairobi.

ONU-Medio Ambiente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2016. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. ONU-Medio Ambiente. Nairobi.

OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2011. *Agua y Saneamiento: Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública*. OPS.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2014. *Human Development Report 2014*. PNUD, Public Data Explorer.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2016 *Informe Regional sobre Desarrollo Humano para América Latina y el Caribe Progreso multidimensional: bienestar más allá del ingreso*. PNUD. Nueva York, EE.UU.

Thebo AL, Drechsel P, Lambin EF. 2014. *Global Assessment of urban and peri-urban agriculture: irrigated and rainfed croplands*. Environmental Research Letters 9 114002

UN-DESA (Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales). 2009. *Classification of Countries by Major Area and Region of the World*. UNDESA. (Disponible en http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM_2009/WPP2009_DEFINITION_OF_MAJOR_AREAS_AND_REGIONS.pdf). Accedido el 13/03/2013

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.

CAPÍTULO 2

Producción, tratamiento y reutilización de aguas residuales municipales en América Latina y el Caribe

Javier Mateo-Sagasta, Gerardo González, Anne Thebo



América Latina y el Caribe (ALC) es la región más urbanizada del mundo. Se estima que sus asentamientos urbanos producen más de 30 km³ de agua residual municipal cada año, lo que equivale a cuatro veces el caudal del Río Bravo en México. Los recursos contenidos en estas aguas serían potencialmente suficientes para regar y fertilizar millones de hectáreas de cultivos y suministrar energía a millones de hogares. Sin embargo, la utilización planificada de aguas residuales tratadas es una excepción, no la regla.

La gestión de las aguas residuales es muy variable en los diferentes países de ALC como resultado de los diversos grados de concientización ambiental, nivel de renta y prioridades políticas. Mientras en algunos países la mayor parte del agua residual municipal se colecta y trata de manera segura, en otros el tratamiento es casi inexistente. En la región, de media, existe capacidad instalada para tratar más del 40% de las aguas residuales municipales generadas, aunque el tratamiento real es sustancialmente menor, ya que un número importante de plantas de tratamiento no están operativas o no funcionan correctamente. A pesar del gran potencial que existe para la reutilización directa, segura y planificada de aguas en la región, la mayor parte de las aguas residuales se vierten al mar sin ser aprovechadas; o bien llegan a los cursos de agua, siendo reutilizadas aguas abajo de manera indirecta, y muchas veces no intencionada, en cientos de miles de hectáreas de cultivos en ALC lo que supone serios riesgos para la salud de las personas y del medio ambiente.

En este capítulo se analiza el panorama actual en materia de reutilización de las aguas residuales en la región de ALC, aportando una visión de conjunto, pero integrando a su vez las peculiaridades de cada territorio. Se analiza el potencial para la recuperación de recursos valiosos (como agua, nutrientes y carbono orgánico) que existe en el agua residual municipal, y se contrasta este potencial con la situación real donde la mayor parte de estos recursos no se recuperan ni utilizan de manera segura y planificada.

2.1 Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales

Con unas pocas excepciones, la gestión y tratamiento de las aguas residuales municipales en ALC es inadecuada, lo que contribuye a que aproximadamente un 25% de los cursos de agua de la región estén severamente afectados por contaminación fecal con concentraciones medias de coliformes fecales mayores de 1 000 NMP/100ml (ONU-Medio Ambiente, 2016). La creciente contaminación de las aguas conlleva serios riesgos para la salud, ya sea por su uso para abastecimiento doméstico, usos recreativos o para riego de cultivos.

La cobertura de saneamiento varía entre países, pero también entre las zonas rurales y urbanas de un mismo país. Así, el porcentaje de la población en ALC con acceso a instalaciones de “saneamiento mejorado”¹ es del 88% en áreas urbanas y tan sólo 64% en zonas rurales. El Cuadro 2.1 muestra los porcentajes globales y específicos de determinados países en ALC. Los valores más bajos de cobertura se dan en Haití, donde menos del 50% de su población tiene acceso a un saneamiento mejorado (OMS-UNICEF, 2015). En 2015, más de 105 millones de habitantes carecían de acceso a estos servicios en ALC (OMS-UNICEF, 2015). No obstante, desde 1990 los datos indican una tendencia muy positiva hacia un aumento de la cobertura, especialmente en áreas rurales donde se ha pasado de una cobertura del 36% en 1990 al 64% en 2015 (OMS-UNICEF, 2015).

2.1 Las instalaciones mejoradas varían desde una simple letrina de pozo protegida, hasta inodoros con cisterna conectados a sistema de alcantarillado. Para ser efectivas, las instalaciones deben estar correctamente construidas y apropiadamente mantenidas (OMS-UNICEF 2015).

Cuadro 2.1. Cobertura de saneamiento mejorado en determinados países de ALC en 2015.

País	Cobertura de saneamiento mejorada (% de población)		
	Urbana	Rural	Total
Chile	100	91	99
Argentina	96	98	96
Uruguay	97	93	96
Costa Rica	95	92	95
Venezuela	97	70	94
Cuba	94	89	93
Paraguay	95	78	89
México	88	74	85
Ecuador	87	81	85
Rep. Dominicana	86	76	84
Brasil	88	52	83
Honduras	87	78	83
Colombia	85	68	81
Perú	82	53	76
Panamá	84	58	75
El Salvador	82	60	75
Nicaragua	76	56	68
Guatemala	78	49	64
Bolivia	61	28	50
Haití	34	19	28
ALC	88	64	83

Fuente: OMS-UNICEF (2015)

El acceso a letrinas y saneamiento mejora la higiene y reduce la exposición a excretas y residuos en los asentamientos humanos, pero no garantiza la correcta gestión, vertido o reutilización de las aguas residuales o excretas recolectadas. Cuando éstas excretas se colectan en sistemas in-situ, como las fosas sépticas, los lodos fecales recolectados deben ser posteriormente tratados. Cuando las aguas residuales se recogen en sistemas de alcantarillado convencional, simplificado o condominial, también se deben tratar adecuadamente antes del vertido o la reutilización.

El Cuadro 2.2 muestra el acceso a sistemas de alcantarillado en diferentes países de la región que, como es de esperar, es mucho mayor en zonas urbanas donde la densidad de población y el acceso al agua para la descarga de letrinas es también mayor. La existencia de alcantarillado, estándar o simplificado, es una condición necesaria para el posterior tratamiento más o menos centralizado de las aguas y su reutilización a escala. En ALC, el porcentaje de la población con acceso a sistemas de alcantarillado ha pasado de un 14% en 1960 (29 millones de habitantes) a casi el 50% el 2000 (241 millones) (OPS, 2001). En 2015, el porcentaje de la población urbana con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas fue de 88% (UNICEF/OMS, 2015; citado por Jouravlev, 2017). Este aumento, incrementa el potencial de la reutilización de agua a gran escala. Donde no existen sistemas de alcantarillado, como en la mayor parte de los suburbios urbanos, zonas periurbanas y rurales, es recomendable planificar e implementar sistemas de tratamiento y reutilización descentralizados.

Cuadro 2.2. Cobertura de sistemas de recolección de aguas residuales (red pública de alcantarillado) en determinados países de ALC.

País	Año	Conexiones a la red de alcantarillado (% de población)		
		Urbana	Rural	Total
Chile	2011	98	19	88
Colombia	2012	92	14	75
México	2012	88	29	75
Rep. Dominicana	2013	82	50	74
Venezuela	2011	78	10	70
Perú	2013	85	15	68
Argentina	2013	66	75	68
Uruguay	2013	64	1	61
Ecuador	2012	76	23	61
Brasil	2012	64	5	55
Honduras	2012	69	38	54
Cuba	2011	57	15	46
Guatemala	2011	72	9	42
Bolivia	2012	60	4	40
El Salvador	2013	56	1	36
Panamá	2013	45	1	31
Costa Rica	2011	40	4	25
Nicaragua	2011	40	0	24
Paraguay	2013	16	2	10
Haití	2012	2	0	1

Fuente: Adaptado de OMS-UNICEF (2015)

Aunque la producción de aguas residuales municipales no siempre se monitoriza y publica de manera regular (Sato *et al.*, 2013) en los países de la región, en base a los datos existentes (Cuadro 2.3) se estima que al menos 30 km³ son generados cada año. Esta es una cifra conservadora ya que algunos datos no están actualizados y falta información para algunos países con un tamaño de población relevante como Honduras o Haití. Como es de esperar por el tamaño de sus poblaciones, solamente Brasil y México juntos ya producen más de la mitad del agua residual generada en toda ALC. En base a los datos disponibles se estima que se someten a tratamiento aproximadamente el 40% de las aguas residuales municipales, aunque se debe tomar esta cifra con cautela y solo como una estimación gruesa. Primero porque la mayor parte de países reportan capacidad de tratamiento instalada en vez de la cantidad tratada realmente, que es sustancialmente menor porque muchas plantas de tratamiento instaladas no funcionan adecuadamente por sobrecarga o problemas de operación y mantenimiento. Segundo, porque los datos disponibles son para distintos años y algunos son relativamente antiguos, cuando la población urbana era menor. En cualquier caso, los datos disponibles sugieren que al menos 18 km³ de aguas residuales municipales son vertidos cada año a los cuerpos de agua de la región sin recibir ningún tipo de tratamiento, cifra que está en línea con anteriores estimaciones (por ejemplo, las realizadas por Jouravlev, 2004).

Cuadro 2.3. Producción y tratamiento de aguas residuales municipales en determinados países de ALC.

País	Agua residual municipal (km ³)			
	Producida	(año)	Tratada	(año)
Brasil ^(a)	10,1	2014	3,76	2014
México ^(b)	7,21	2014	3,52	2014
Colombia ^(c)	2,34	2012	0,73	2012
Argentina	2,46	2010	0,29	2010
Chile ^(d)	1,181	2015	1,180*	2015
Perú ^(e)	1,34	2015	0,96	2015
Venezuela	ND	-	0,93	2009
Ecuador	0,46	2010	0,16	1999
Guatemala	0,67	2006	ND	-
Cuba	0,84	2010	ND	-
Bolivia	0,26 ^(f)	2011	0,10 ^(g)	2013
Rep. Dominicana	0,43	2011	0,01	2011
Paraguay	0,2	2005	ND	-
El Salvador	0,1	2010	0,001	2010
Nicaragua	0,3	2008	0,11	2008
Costa Rica	0,31	2012	0,01	2012

ND: No disponible

*incluye el agua residual vertida solo tras pre-tratamiento mediante emisarios submarinos

Fuente: Elaboración propia en base a: AQUASTAT (2016); (a) SNIS (2014); (b) CONAGUA (2015); (c) Superservicios (2013), (d) SISS (2016); (e) Moscoso (2016); (f) MMAyA (2013) y (g) INE (2015)

El nivel de tratamiento de las aguas residuales municipales es muy variado en los diferentes países. Así, por ejemplo, Perú tiene 336 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las que 255 se basan en lagunas de estabilización (siendo 162 de ellas conformadas por lagunas primarias y secundarias, y 93 por solo lagunas primarias) y otras 34 trabajan con lagunas anaerobias, seguidas por facultativas y de pulimento. Finalmente, otras 17 plantas están aplicando la tecnología de lodos activados. Sin embargo, el 70% de todas las aguas recolectadas en el Perú reciben solo un tratamiento preliminar avanzado y luego son vertidas al mar mediante emisarios submarinos (Moscoso, 2016). En Brasil, el 21% de las PTAR consiste en solo un tratamiento preliminar, el 17% no va más allá de un tratamiento primario, el 52% llega hasta un tratamiento secundario y el 10% a tratamiento terciario (ANA, 2012). En el caso de México, 1 360 plantas de tratamiento se encargan de depurar las aguas residuales del país. El 59.5% de ellas emplean sistemas de lodos activos, el 12.5% son lagunas de estabilización y el resto se reparte entre tratamientos primarios avanzados, tanques de aireación y oxidación, decantadores primarios, biofiltros y tanques sépticos (CONAGUA, 2015). Estos ejemplos ilustrativos sirven para comprobar que el tratamiento de tipo secundario es el más empleado en ALC, llegando a suponer un 80% de entre todas las instalaciones (Noyola *et al.*, 2012). Las tecnologías más empleadas son las lagunas de estabilización, lodos activos y reactores anaeróbicos de flujo ascendente (UASB).

2.2 Potencial en la reutilización

La reutilización de las aguas residuales municipales ofrece múltiples beneficios para la agricultura (ver capítulo 3) si se adoptan medidas de mitigación de riesgo para la salud y el medio ambiente (ver capítulo 4). No sólo supone una fuente adicional de agua para irrigación, sino que incluye valiosos nutrientes que son aprovechados por las plantas y favorecen su desarrollo. La utilización de estas aguas también incrementa la confiabilidad en el suministro de los cultivos, ya que se trata de una fuente constante de agua todo el año, menos dependiente de la variabilidad climática. Por otra parte, la sustitución de agua dulce para riego por aguas residuales tratadas permite una mayor disponibilidad de agua potable para otros usos clave, como son el urbano y el industrial, favoreciendo que la agricultura no tenga que competir con otros sectores por los mismos recursos hídricos.

La cantidad de recursos incorporados en los efluentes otorga una visión clara del potencial de la reutilización en ALC. Estos recursos se hallan principalmente en forma de (i) agua, (ii) nutrientes (nitrógeno, y fósforo principalmente) y (iii) carbono orgánico, que puede usarse como enmienda de suelos o para recuperar energía, por ejemplo, en forma de biogás.

En el Cuadro 2.4 se puede observar la composición típica de las aguas residuales sin tratar, incluyendo los valores medios de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico total.

Cuadro 2.4. Composición típica de las aguas residuales municipales sin tratar.

Recursos	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Nitrógeno (total como N)	mg/l	20	40	85
Fósforo (total como P)	mg/l	4	8	15
Carbono orgánico total (TOC)	mg/l	80	160	290

Fuente: Adaptado de Tchobanoglous et al. (2003)

Con los datos sobre producción de aguas residuales municipales en ALC (aproximadamente 30 km³/año), es posible estimar su contenido potencial en nitrógeno, fósforo y carbono orgánico. Debe tenerse en cuenta que los valores obtenidos en el Cuadro 2.5 responden a la cantidad máxima teórica que se podría recuperar, y que sólo han considerado aguas residuales municipales y no rurales o de industrias fuera de las ciudades. Por otro lado, los cálculos se basan en las eficiencias de recuperación de recursos del 100%, sin tener en cuenta factores técnicos o económicos que pudieran limitar tales eficiencias. Si bien las cifras indican el potencial máximo teórico de aprovechamiento remarcan el potencial hacia el que apuntar.

Cuadro 2.5. Contenido potencial de determinados recursos en las aguas residuales municipales producidas en ALC.

Recursos	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Nitrógeno (total como N)	Tg/año	0,60	1,20	2,55
Fósforo (total como P)	Tg/año	0,12	0,24	0,45
Carbono orgánico total (TOC)	Tg/año	2,40	4,80	8,70

Nota: Tg = Teragramo = 10⁹ kg

A partir del contenido en carbono orgánico total de las aguas residuales también se puede estimar la producción energética potencial. Este planteamiento considera la conversión anaeróbica del carbono orgánico a gas metano, que gracias a su poder calorífico permite la generación de energía. Para ello se considera un factor de conversión anaeróbica de carbono orgánico a metano de $0,14 \text{ m}^3$ de CH_4 por cada m^3 de agua residual municipal (en condiciones estándares de presión y temperatura) (Verstraete *et al.*, 2009) y un valor calorífico del metano igual a $35,9 \text{ MJ/m}^3 \text{ CH}_4$ (Frijns *et al.*, 2013). Por tanto, en toda la región de ALC, los 30 km^3 de aguas residuales municipales producidas anualmente generarían $4,2 \text{ km}^3$ de CH_4 con un poder calorífico de $1,51 \cdot 10^{11} \text{ MJ}$ (para una concentración de aguas residuales media). Teniendo en cuenta el consumo eléctrico medio por hogar en América Latina ($2\,081 \text{ kWh/hogar}$) (World Energy Council, 2013) y una recuperación completa del metano, se podría generar potencialmente energía para abastecer más de 20 millones de hogares.

Asimismo, las aguas residuales pueden suponer un recurso hídrico fiable y rico en nutrientes para la irrigación de cultivos. Por ejemplo, con las aguas residuales municipales producidas cada año en ALC se podrían regar directamente 4 millones de hectáreas de cítricos (FAO, 2013), asumiendo una dotación de riego media de $7\,500 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Castañer, 2000).

Además, si consideramos una concentración media de nutrientes en estas aguas residuales (Cuadro 2.4), estas hectáreas podrían recibir un aporte de fertilizantes de 300 kg N/ha/año y 60 kg P/ha/año , niveles sustancialmente mayores que los que se aplican de media en los países de la región. Por ejemplo, el total de nitrógeno aportado como fertilizante a las tierras de cultivo permanentes en Chile, México, Brasil y Nicaragua son de 168 kg N/ha , 38 kg N/ha , 32 kg N/ha , y 18 kg N/ha , respectivamente (FAO, 2013). De acuerdo con FAO (2016) la agricultura de ALC es deficitaria en nutrientes como el N, P y K. La demanda de fertilizantes ha crecido rápido y seguirá creciendo en el periodo 2015-2019 a uno de los mayores ritmos del mundo ($3,2\%$ anual para nitrógeno (N), $3,95\%$ anual para el fosfato (P_2O_5) y $3,48\%$ para la potasa (K_2O). La recuperación de nutrientes a través de la reutilización de aguas residuales supone por tanto una oportunidad para ayudar a satisfacer la necesidad creciente de fertilizantes en la región, especialmente en la agricultura urbana y peri-urbana, próxima a lugares de producción de aguas residuales, y donde las necesidades para producción agrícola (sobretudo hortícola) crecen especialmente rápido.

Estas estimaciones se pueden afinar por país, por ejemplo, en Perú, teniendo en cuenta los precios promedios de los fertilizantes comerciales más utilizados para aportar nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), se ha estimado que los $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$ de las aguas tratadas actualmente podrían aportar anualmente a la agricultura casi 110 000 toneladas métricas de nutrientes valorados en US\$ 67 millones. Estas cifras se elevarían a 136 000 toneladas métricas anuales si todas las aguas generadas actualmente fueran tratadas y reusadas ($22 \text{ m}^3/\text{s}$), con un valor que alcanzaría a los US\$ 83 millones. Por último, si las aguas que se generen en el 2030 fuesen tratadas y reusadas totalmente ($28,9 \text{ m}^3/\text{s}$) estarían suministrando casi 180 000 toneladas métricas anuales de nutrientes por un valor de US\$ 109 millones (Moscoso, 2016).

2.3 Reutilización real en agricultura (formal e informal)

Las aguas residuales municipales, tratadas o no, se pueden utilizar en agricultura directamente, con poca o ninguna dilución con agua dulce, o indirectamente, una vez que se han vertido a cuerpos de agua de manera que el agua contaminada se utiliza aguas abajo (Mateo-Sagasta *et al.*, 2015). En ALC, como en el resto del mundo, la extensión de la reutilización indirecta es mucho mayor que la reutilización directa y planificada (figura 2.1). En cualquier caso, cuantificar la extensión de estas prácticas es un reto, sobre todo en países de bajos ingresos, debido a la falta de información fiable y suficiente.

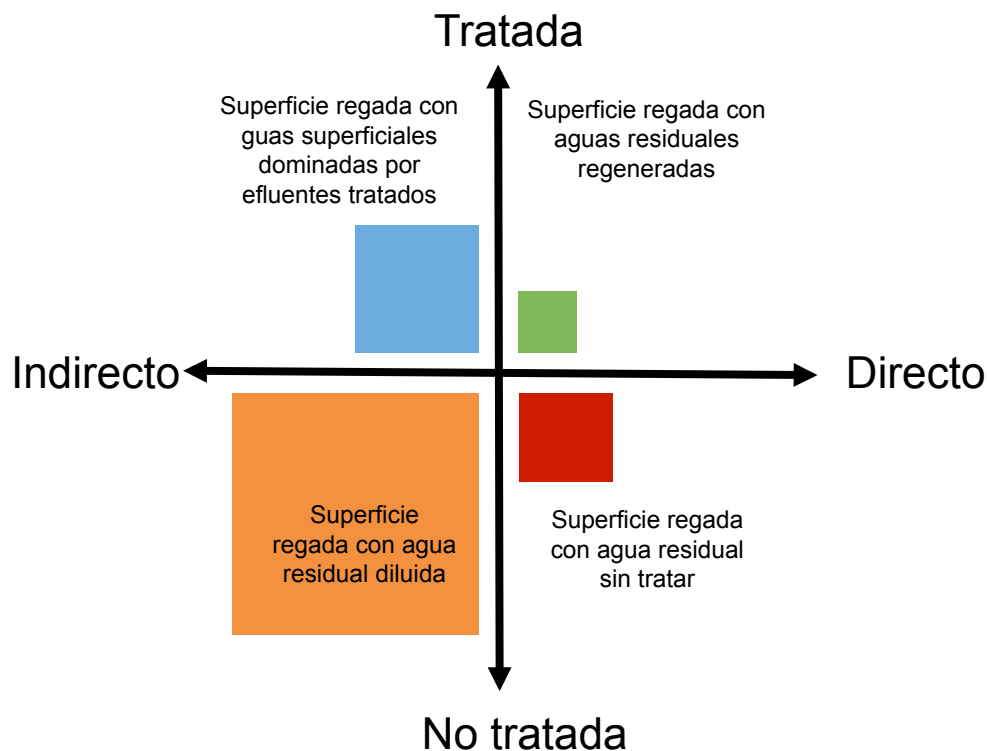


Figura 2.1 Comparación gráfica de la superficie regada de manera directa e indirecta con agua residual tratada y no tratada en la región de ALC (gráfico no a escala).

En general, la información disponible sobre el uso directo y planificado de aguas residuales tratadas para agricultura es relativamente fiable en comparación con el uso indirecto e informal, que suele basarse en estimaciones o simulaciones. Sin embargo, en los países de ALC la información y datos sobre proyectos de reutilización directa y planificada esta atomizada y apenas existen análisis recientes que recopilen la información de proyectos locales para ofrecer evaluaciones nacionales.

El Cuadro 2.6 resume la información disponible acerca de la utilización directa de aguas residuales tratadas en agricultura en determinados países de ALC. Algunos datos hacen referencia a casos o ejemplos de reutilización específicos de cada país, sin representar la totalidad del territorio, y así se anota en el cuadro. Los países listados acumulan la mayor parte de los proyectos a gran escala de uso directo de aguas residuales tratadas en agricultura. Aunque la información no está siempre actualizada ni es completa, se estima que en la región se riegan sin apenas dilución al menos 110 000 ha con aguas residuales tratadas. Esta cifra es solo una fracción de la superficie regadas con aguas residuales diluidas (tratadas o sin tratar), tal y como se muestra en las siguientes secciones de este capítulo y, probablemente, menor que la superficie regada con aguas residuales sin tratar con poca o ninguna dilución, como ha venido siendo el caso del riego de las de 90 000 hectáreas en el valle de Tula, en México (Siebe *et al.*, 2016), o las 3 120 ha regadas alrededor de diversas ciudades en Bolivia (MMAyA, 2013).

Cuadro 2.6. Uso directo de aguas residuales tratadas en agricultura para determinados países de ALC.

País	Volumen usado (km ³)	(año)	Superficie irrigada (ha)	(año)
Argentina	ND	-	>20 000 ^(o)	2004
Bolivia	ND	-	3 138 ^(a)	2011
Brasil	0,008 ^{(b)*}	2001	ND	-
Chile	0,013 ^(c)	2014	ND	-
México	0,401 ^{(d)**}	2010	70 000 ^{(o)**}	2008
Perú	0,246 ^(e)	2015	13 200 (2015) ^(e)	2015

ND: No disponible.

Fuente: Autores a partir de (o) Jiménez y Asano (2008); (a) MMAyA 2013; (b) Rodrigues-Pimentel, et al (2001); (c) SISS (2016); (d) GWI (2010) (e) Moscoso (2016)

*Volumen usado en Fortaleza y Sao Paulo, no todo Brasil

** se proyecta un aumento sustantivo con la operación a máxima capacidad de la PTAR de Atotonilco

La extensión de la reutilización indirecta es todavía más difícil de cuantificar. Hasta ahora la información regional sobre reúso indirecto dependía de los casos de estudio y diagnósticos llevados a cabo por investigadores o gobiernos de los países, y estos diagnósticos son escasos y heterogéneos y muchas veces no están actualizados. Cuando existen, usan métodos de cuantificación o definiciones diferentes que hacen difícil la comparación de cifras entre países. Además, la utilización de aguas residuales más o menos diluida, aunque es una práctica conocida, muchas veces no se reporta públicamente por temor a alarmar a la opinión pública, lo que hace el acceso a la información todavía más difícil. El Cuadro 2.7 (columna de la derecha) recoge algunos estudios nacionales destacados.

Sin embargo, recientes estudios (Thebo *et al.*, 2014 y Thebo *et al.*, 2017) apoyados por la universidad de Berkeley y el Centro Internacional de Gestión del Agua (IWMI por sus siglas en inglés) han estimado por primera vez de una manera geográficamente explícita la extensión global de los cultivos regados con aguas residuales más o menos diluidas. Como el método es homogéneo, los resultados entre países se pueden comparar. El estudio determinó primero las superficies de cultivos regadas dentro y aguas debajo de áreas urbanas mayores de 50 000 habitantes hasta una distancia² de 40 km (Thebo *et al.*, 2014). El Cuadro 2.7 (columnas 3, 4 y 5) recoge los resultados de estos estudios para los países de ALC donde la reutilización indirecta de aguas residuales en agricultura está más extendida. En estos países los estudios muestran que el Área de Cultivo Regada aguas abajo de Áreas Urbanas (ACRAU) es de aproximadamente 3,12 Mha, de los cuales 1,87 Mha son dependientes de aguas residuales municipales³ y 0,55 Mha son altamente dependientes de aguas residuales municipales⁴ muchas veces sin tratar.

2.2 Se escogió una distancia máxima de 40 km desde la áreas urbanas basado el a revisión de datos de calidad de agua aguas debajo de áreas urbanas con bajos niveles de tratamiento de aguas residuales, con la intención de seleccionar una distancia más allá de la cual es probable que se hayan reducido la contaminación fecal a los niveles que harían seguro sus uso para riego de cultivos a ser consumidos en fresco.

2.3 El agua residual municipal supone más del 20% del caudal en la cuenca

2.4 El agua residual municipal supone más del 80% del caudal en la cuenca

Cuadro 2.7. Uso indirecto de aguas residuales en agricultura para determinados países de ALC.

País	Capacidad de tratamiento de aguas residuales municipales (% del agua residual generada)	Área de cultivo regada aguas abajo de áreas urbanas (ACRAU) ^{& 1} (1000 ha)	ACRAU dependiente de aguas residuales municipales ^{# 2} (1000 ha)	ACRAU altamente dependiente de aguas residuales municipales ^{# 3} (1000 ha)	Área de cultivo regadas con aguas residuales diluidas reportadas en literatura (1000 ha)
Argentina	12 ^(a)	309	210	79	24 ^(h)
Brazil	37 ^(b)	371	21	2	ND
Chile	100 ^{(c) 4}	148	45	6	130 ^{(i) 5}
Colombia	31 ^(d)	174	5	5	ND
México	49 ^(e)	1 794	1 455	386	190 ^(h) -390 ⁽ⁱ⁾
Peru	28 ^(f)	126	79	38	ND
Venezuela	24 ^(g)	197	51	36	ND
Total		3 119	1 866	551	344-544

Fuente: Elaboración propia a partir de (&) Thebo et al. (2014); (#) Thebo et al. (2017); (a) AQUASTAT (2016); (b) SNIS (2014); (c) SISS (2016); (d) Superservicios (2013); (e) CONAGUA (2015); (f) Moscoso (2016); (g) UNSD (2017).; (h) Jiménez y Asano (2008); (i) Mena-Petri (2001); (j) FAO (2014)

1: En un radio de 40 km aguas debajo de ciudades de más de 50 000 habitantes

2: ACRAU donde $\geq 20\%$ del caudal es agua residual

3: ACRAU donde $\geq 80\%$ del caudal es agua residual

4: Incluye como aguas residuales tratadas el pre-tratamiento de las aguas residuales vertidas mediante emisarios submarinos

5: Datos de 2001 y referidos a los alrededores de Santiago de Chile, no todo el país

Estas cifras muestran una cierta mejoría con respecto a la situación de la región hace 30 años cuando se informaba que se regaban hasta 2,5 Mha con aguas contaminadas por aguas residuales municipales (OMS, 1989). La diferencia probablemente se debe a los avances en el tratamiento de aguas residuales ocurrido en la región, a pesar de la creciente urbanización, pero también a las diferentes metodologías empleadas en las estimaciones.

Sin duda, el caso más destacado es México donde al menos la mitad de sus aguas residuales municipales se vierten sin tratar y donde de acuerdo con Thebo *et al.*, 2014 existen casi 1,8 Mha regadas en un radio de 40 km aguas abajo de áreas urbanas. Dadas las escasas precipitaciones en gran parte del país muchos de los cauces de agua situados aguas abajo de las ciudades son altamente dependientes de los retornos urbanos, muchas veces sin tratar. Esto hace que la superficie de riego donde puede haber riesgos de contaminación de los cultivos sea de hasta 1,45 Mha. Los riesgos reales para la salud dependerán del tipo de cultivos que se producen y de la distancia a las áreas urbanas, así como de las prácticas para garantizar la inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria. Si la mayor parte de los cultivos fuesen verduras y hortalizas para consumo en fresco cultivadas cerca de las ciudades (sin que pueden darse procesos naturales de decaimiento de los patógenos en los cursos de agua) y se vendiese en mercados informales sin medidas de protección del consumidor, entonces los riesgos para la salud ciertamente serían muy elevados. La evaluación y cuantificación real de los riesgos requerirá de estudios detallados que aborden la presencia de peligros en el agua de riego y las vías de

exposición a las personas en puntos de control crítico en la cadena que va desde la generación de aguas residuales hasta que los alimentos son preparados y consumidos, como recomendado en OMS 2006 y 2016.

Se puede consultar más información sobre reutilización en destacados países de la región en los resúmenes nacionales del capítulo 7.

2.4 Referencias

ANA (Agencia Nacional de Aguas). 2012. *Surface freshwater quality in Brazil: outlook 2012: executive summary*. Agencia Nacional de Aguas Brasília: ANA, 2012.

AQUASTAT. 2016. FAO global information system on water and agriculture. Wastewater section. (Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/wastewater/index.stm>). (Consultado en Marzo de 2016).

Gastañer, M.A. 2000. *Riego por goteo en cítricos: manual práctico*. Mundi Prensa Libros SA; 140 p.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. *Estadísticas del Agua en Mexico Edición 2015*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. *Current world fertilizer trends and outlook to 2019*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. AQUASTAT database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Ficha de País: México en AQUASTAT. Actualizado e 2014. (Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/mex/index.stm). Accedido en 2016.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. FAOSTAT (disponible en: <http://faostat.fao.org/>). (Consultado en Noviembre de 2014).

Frijns, J., Hofman, J. & Nederlof, N. 2013. The potential of (waste)water as energy carrier. *Energy Conversion and Management* 65 (2013) 357–363.

Global Water Intelligence (GWI). 2010. *Municipal Water Reuse Markets 2010*. Media Analytics Ltd. Oxford, UK.

INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia) 2015. *Estadísticas de medio ambiente 2004-2013*. INE, Bolivia

Jiménez, B. 2008. Water reuse overview for Latin America and Caribbean. Chapter 9. In: Jiménez, B., Asano, T. editors. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. IWA Publishing, London; 648 p.

Jiménez, B. & Asano, T. 2008. Water reclamation and reuse around the world: In: Jimenez B, Asano T (Eds) *Water reuse: An international survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing, London, pp 1-26.

Jiménez, B. 2012. *Turning Brown water into green produce: wastewater reuse in 22 Nicaraguan cities*. The World Bank. Lima, Peru.

Jouravlev, A. 2004. *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Serie recursos naturales e infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile, julio de 2004.

Jouravlev, A. 2017. Capítulo 13: América Latina y el Caribe. En: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.

Mateo-Sagasta, J. Raschid-Sally L and Thebo A. 2015. Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use. In: *Drechsel et al. (eds). Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer.

Mena-Patri, M. 2001. *Regional Project on Treatment and Integral Use of Wastewater in Latin America: Actual situation and potential. Case Study: Santiago, Chile*. Agreement: IDRC OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002

MMAYa (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2013. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. (Disponible en: <http://www.riegobolivia.org/publicaciones.html?page=1&parent=&contePage=1&contePage=2>).

- Moscoso, J.** 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J.M., Güereca, L.P. & Hernández-Padilla, F.** 2012. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 40(9), 926-932.
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 1989. Health guidelines for the safe use of wastewater in agriculture and aquaculture. *Technical report Series 778*.
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. *Ginebra: Organización Mundial de la Salud*
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 2016. Planificación de la seguridad del saneamiento. Manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, excretas y aguas grises. *Organización Mundial de la Salud* (disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250331/1/9789243549248-spa.pdf?ua=1>)
- OMS-UNICEF.** 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS-UNICEF. (Disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).
- ONU-Medio Ambiente** (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2016. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. ONU-Medio Ambiente. Nairobi.
- OPS.** 2001. *Informe Regional sobre la Evaluación 2000 en la Región de las Américas: Agua Potable y Saneamiento, Estado Actual y Perspectivas*. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C.: OPS, 2001.
- Rodrigues-Pimentel, F., Morales-Torres, I., Da Costa de Silva, J., Silveira-Britto junior, A. & Bemvindo-Gomes, R.** 2001. *Case Study: conjunto renacer, Fortaleza, Estado do Ceará. Regional Project on Treatment and Integral Use of Wastewater in Latin America: Actual situation and potential*. Agreement: IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002.
- Sato, T., M. Qadir, S. Yamamoto, T. Endo, & A. Zahoor.** 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and reuse. *Agricultural Water Management* 130: 1-13.
- Siebe, C., Chapela-Lara, M., Cayetano-Salazar M., Prado B. y Siemens J.** 2016 *Efectos de más de 100 años de riego con aguas residuales de la Ciudad de México en el valle del Mezquital (Mezquital)*. En: Hettiarachchi H y Ardakanian R. (eds). Usos seguro y de aguas residuales en agricultura: ejemplos de buenas prácticas. UN-FLORES, Dresden Germany
- SNIS** (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). 2014. *Diagnostico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014*. Brasil: SNIS.
- SISS** (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2016. *informe de gestion del sector sanitario 2015* Chile: SISS. Disponible en http://www.siss.gob.cl/577/articles-16141_recurso_1.pdf
- Superservicios** (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios). 2013. *Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. Bogota, Colombia: Superservicios.
- Tchobanoglous G., Burton F. L. and Stensel H. D & Metcalf and Eddy Inc.** (Eds.), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, fourth ed. McGraw-Hill, New York, USA.
- Thebo AL, Drechsel P, Lambin EF.** 2014. Global Assessment of urban and peri-urban agriculture: irrigated and rainfed croplands. *Environmental Research Letters* 9 114002
- Thebo AL, Drechsel P, Lambin EF and Nelson K L.** 2017. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*
- UNSD.** 2017. División de estadística de la ONU. Base de datos de Medio Ambiente. Accedido en Enero de 2017 (Disponible <http://data.un.org/Data.aspx?d=ENV&f=variableID%3a164>)
- Verstraete, W., Van de Caveye, P. & Diamantis, V.** 2009. Maximum use of resources present in domestic “used water”. *Bioresource Technology* 100 (23):5537–5545.
- World Energy Council.** 2013. Energy efficiency indicators. (disponible en: <http://www.wec-indicators.enerdata.eu/household-electricity-use.html>).

CAPÍTULO 3

Los beneficios de la reutilización de aguas y ejemplos en América Latina y el Caribe

Javier Mateo-Sagasta, Gerardo González y Julio Moscoso



Cada año se desperdician millones de toneladas de recursos valiosos (agua, nutrientes-fertilizantes y materia orgánica) contenidos en las aguas residuales que se vierten a nuestros ríos y mares. Esto conlleva a su vez serios riesgos para la salud humana y el medio ambiente debido a la contaminación de los cuerpos de agua (ver capítulo 1). Sin embargo, la recuperación de estos recursos para la producción de alimentos puede tener beneficios para todos los sectores implicados, es decir, a las ciudades, la agricultura y el medioambiente en su conjunto.

3.1 Beneficios para la agricultura

La agricultura se puede beneficiar de la reutilización de efluentes urbanos de varias maneras, siendo las más importantes: (i) la mejora en la confiabilidad del suministro de agua, (ii) la capacidad fertilizante de los nutrientes de los efluentes urbanos y (iii) el acercamiento de la producción a los centros de consumo.

Los efluentes urbanos (tratados o no) son una *fuentes de agua estable* todo el año, ya que es menos dependiente de la variabilidad climática y las sequías porque proviene del agua abastecida a la ciudad, que tiende a ser constante. Su uso permite a los agricultores mejorar su seguridad hídrica a largo plazo y minimizar la exposición a riesgos hídricos estacionales, facilitándose así la planificación de sus sistemas de producción. Es más, la tendencia es a disponer cada vez de más agua en las ciudades, en la medida que el abastecimiento urbano es mayor conforme crece la población y el consumo de agua por habitante. La confiabilidad en el suministro es uno de los principales motores de la reutilización. Por ejemplo, en la provincia de Mendoza (Argentina) la creciente demanda de agua para uso doméstico e industrial limitó la disponibilidad de este recurso en la agricultura, pero gracias al tratamiento de efluentes urbanos y su reutilización en agricultura, se dispone ahora de suficiente caudal para el riego de unas 15 000 hectáreas de vid, forrajes y otros cultivos (Dagnino, 2012). En Tacna (Perú) situada en el desierto de Atacama, el 100% de las aguas residuales generadas por la ciudad son utilizadas para regar 1 500 ha agrícolas con solo 34 560 m³/día (Moscoso, 2016). En Brasil las sequías recurrentes de la última década, como la que azotó el sur-este del país en 2014-2015, ha comprometido a sus gobernantes con la reutilización planificada y segura de aguas como herramienta para reducir la vulnerabilidad a la variabilidad climática.

Asimismo, el *contenido en nutrientes-fertilizantes* en estas aguas (nitrógeno, fósforo, potasio y otros) puede contribuir a aumentar el rendimiento de los cultivos. Así por ejemplo, considerando una concentración media de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las aguas residuales de 40 y 8 mg/l respectivamente (Tchobanoglous *et al.*, 2003) y una dotación de riego moderada de 5 000-10 000 m³/ha/año (dotación típica para frutales en zonas templadas (FAO, 2012) las dosis de fertilización que resultan son de 200-400 kg de N/ha y 40-80 kg P/ha, cantidades más que suficientes para satisfacer las necesidades de la mayor parte de los cultivos. Estudios realizados en cultivos regados con aguas residuales en Perú con dotaciones de entre 4 400 y 28 000 m³/ha/año indican aportes de nutrientes muy altos de entre 390-2 500 kg de N/ha/año, 280-17 610 kg de P/ha/año y 200-1 260 kg de K/ha/año (Moscoso, 2016). Como los requerimientos de nutrientes por las plantas no son constantes y dependen de su estado fenológico el reto está en evitar una aplicación excesiva o desequilibrada de nutrientes que pueden causar un crecimiento vegetal indeseado, una maduración retrasada o irregular, o la contaminación de aguas subterráneas o superficiales (ver capítulo 4).

Muchas experiencias han demostrado cómo las aguas residuales logran una productividad agrícola más alta que cultivos regados con agua convencionales. El Cuadro 3.1 muestra las experiencias agrícolas realizadas en Tacna (Perú), en donde los agricultores que regaban con aguas residuales tratadas en lagunas de estabilización lograban cosechas de 50 a 250% más altas que aquellos que usaban agua de pozo y ocasionalmente fertilizantes químicos (Moscoso, 2016). Esto implica para los primeros una reducción importante de sus costos de producción y por tanto una ventaja en los precios de los productos que ofertan en el mercado.

Cuadro 3.1. Incremento de la producción agrícola por el uso de aguas residuales en Tacna, Perú (toneladas métricas/ha).

CULTIVO	Aguas residuales tratadas	Aguas de pozo + fertilizantes
Alfalfa	12	10
Maíz	5	2
Trigo	3	2
Cebada	4	2
Avena forraje	22	12
Tomate	35	18
Ají	12	7
Papa	30	12

Fuente: Moscoso (2016)

Por otra parte, cuando las aguas residuales (tratadas o no) que se emplean para regar sustituyen a la extracción de aguas subterráneas puede haber serios ahorros en los costos de bombeo o puede prevenirse la sobreexplotación de acuíferos. Es el caso de Tacna (Perú) reportado en el Cuadro 3.1 y discutido antes. En México hay otros ejemplos de sustitución del uso de aguas subterráneas por aguas residuales regeneradas, en parte por los niveles de sobreexplotación de muchos de sus acuíferos. En el Valle del Mezquital, alrededor de 90 000 ha son irrigadas con las aguas residuales procedentes de Ciudad de México, que son muy apreciadas por más de 46 000 agricultores debido a la falta de otros recursos hídricos y por su contenido en nutrientes (CONAGUA, 2010).

Por último, la reutilización de efluentes urbanos facilita la implantación de *sistemas productivos periurbanos*, más cerca de los núcleos de consumo, con lo que los costos de transporte de alimentos también disminuyen. El agua suele ser un bien escaso en y alrededor de las ciudades, ya que el agua limpia se asigna con prioridad a los usos domésticos y actividades económicas de alto valor añadido. La agricultura sin agua no es posible, sin embargo, la disponibilidad de efluentes urbanos sigue permitiendo la producción agrícola cerca de los núcleos de venta y consumo. Por ejemplo, los problemas de contaminación y la escasez de recursos hídricos en la ciudad de Lima (Perú) motivó el interés de las autoridades por el tratamiento de efluentes urbanos para su reutilización en regadío de cultivos. Se estimó que fomentando la reutilización del 50% de las aguas residuales tratadas se podrían irrigar 10 800 ha de tierras de cultivo y 28 000 ha de parques y zonas verdes de la ciudad lo que ayudaría a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, así como a aumentar la producción y la calidad de alimentos cerca de la ciudad (Castro *et al.*, 2011; FAO, 2014).

Por tanto, los proyectos de reutilización que proporcionen flujos constantes de agua y nutrientes para la agricultura periurbana se pueden traducir en mayores rendimientos agrícolas, más cultivos por año y, en definitiva, mayores ingresos para los agricultores. La clave radicará en conocer cuál es el impacto del proyecto de reutilización en los gastos de los agricultores para saber si el balance económico es positivo para este grupo (ver capítulo 5).

3.2 Beneficios para las ciudades

Las ciudades se pueden beneficiar de la reutilización principalmente por tres razones: (i) pueden fortalecer su seguridad alimentaria al suministrar con agua y nutrientes a la agricultura periurbana, (ii) pueden solucionar de una manera costo-eficaz el problema de sus aguas residuales, y en particular la eliminación de nutrientes y (iii) pueden aumentar su disponibilidad de agua, cuando el agua residual se reutiliza para usos municipales, o cuando se intercambian aguas regeneradas por agua dulce entre las ciudades y la agricultura.

La agricultura urbana y periurbana (AUP) contribuye a *mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones urbanas*. La AUP consiste en la producción de cultivos agrícolas, animales de crianza y productos acuícolas dentro y en la periferia inmediata de la ciudad y otros asentamientos humanos. Estos sistemas agrícolas urbanos y periurbanos, como cualquier sistema agrícola, necesita

de agua y nutrientes-fertilizantes. Recuperar estos recursos de las aguas residuales municipales de una manera segura ha demostrado ser una solución costo-eficaz para mejorar la productividad y contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de las ciudades. Es el caso, por ejemplo, de la colonia Nueva Suyapa (Honduras) en donde se inició en 2010 un proyecto piloto de reutilización de aguas grises para agricultura periurbana en uno de los barrios más vulnerables de Tegucigalpa. Así, se contribuyó a mejorar la seguridad alimentaria de los habitantes que viven en condiciones de extrema pobreza, aumentando de esta forma el consumo de frutas y verduras producidas por ellos mismos (FAO, 2014).

La reutilización es también una posible *solución para el tratamiento y vertido de las aguas residuales*: la población mundial crece y se concentra en las ciudades a un ritmo muy alto, esto hace que la producción de aguas residuales municipales esté creciendo vertiginosamente. Sin embargo, la cobertura de saneamiento y depuración no va al mismo ritmo. De hecho, se estima que en América Latina y el Caribe, se depuran de una manera efectiva antes del vertido menos del 15% de las aguas residuales (ver capítulo 1). Tanto en países en desarrollo como emergentes, se ha recurrido a la agricultura como “filtro verde” para el tratamiento de aguas residuales, donde los cultivos absorben nutrientes como (por ejemplo, nitratos) que de otra manera podrían contaminar los acuíferos o eutrofizar las aguas superficiales. La clave está en que la agricultura como filtro verde sea complementaria a tratamientos previos que eviten o minimicen los riesgos ambientales. Así, la reutilización de los nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales en la producción de cultivos resulta atractiva en términos de eficiencia y sostenibilidad ambiental.

Por último, la reutilización puede ser parte de la solución para el *abastecimiento de agua urbana*. Con el desarrollo socio-económico, las ciudades aumentan sus recursos financieros y sus normas de protección ambiental, lo cual hace que tengan incentivos y capacidad para tratar sus aguas residuales. Una vez tratadas, estas aguas pueden ser utilizadas para diversos usos urbanos (como el riego de jardines públicos, el baldeo de calles o el abastecimiento de agua para los inodoros), usos industriales (como la refrigeración industrial) o recarga de acuíferos (para abastecimiento urbano indirecto). El uso de agua regenerada para estos usos evita la extracción de agua dulce de ríos o de aguas subterráneas cuando éstas son escasas. El máximo desarrollo del reciclaje consiste en la reutilización directa para todos los usos domésticos, incluyendo el agua potable (como en Windhoek, Namibia (Lahnsteiner, 2013), aunque aún son casos aislados. Existe un mercado activo y de rápido crecimiento de proyectos de reutilización de aguas residuales, la mayoría de ellos destinados al uso urbano e industrial (GWI, 2009).

Un tipo de acuerdo en que todos pueden ganar es la renuncia sobre los derechos de agua dulce, por parte de los agricultores en favor de las ciudades, a cambio de suministros garantizados de efluentes urbanos regenerados para la agricultura. La Figura 3.1 ilustra un ejemplo de este intercambio de aguas. Esto permite que las ciudades en expansión tengan acceso a más agua dulce a un costo menor en comparación con transferencias de agua desde zonas lejanas. Estos intercambios de agua requieren de una clara asignación de derechos de uso del agua para que después éstos se puedan intercambiar y un marco legal que lo permita. Para que los agricultores participen voluntariamente de un acuerdo de este tipo, deben recibir agua que sea por lo menos igual de confiable que sus fuentes alternativas, y mejor si contiene nutrientes para el crecimiento de sus cultivos. Dependiendo del lugar, también podría haber beneficios ambientales gracias a un acuerdo como éste.

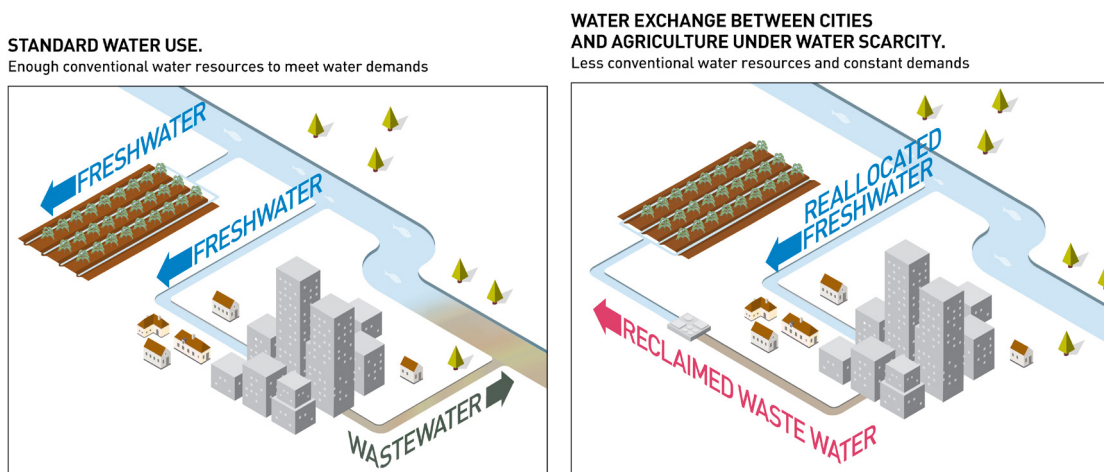


Figura 3.1. Ejemplo simplificado de intercambio de aguas intersectorial bajo condiciones de escasez. (Fuente: FAO, 2013)

Recuadro 3.1. Esquema “ganar-ganar-ganar” con la reutilización e intercambio de aguas en San Luis Potosí, México.

En la zona conurbana de la Ciudad de San Luis Potosí, más de un millón de habitantes sufren de escasez crónica de agua. Con una precipitación pluvial de tan sólo 400 mm/año, existe una creciente demanda de agua por parte de industria y agricultura (Equihua y Rojas, 2013). Por otra parte, la principal fuente de abastecimiento de agua potable es el acuífero del Valle de San Luis de Potosí, que esta sobreexplotado (Rojas, 2011).

Esta situación, junto a los problemas sanitarios derivados de la falta de control de vertidos y uso incontrolado de las aguas residuales de la zona, obligó al Gobierno Federal y Estatal a formular y poner en marcha el “Plan Integral de Saneamiento y Reutilización” de las aguas residuales tratadas. Tras la puesta en marcha de este plan se consiguió tratar 80 000 m³ aguas residuales al día que se reutilizan en agricultura, áreas recreativas y campos de golf, en la Central Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) (Rojas, 2011).

El denominado esquema “ganar-ganar-ganar” que se puso en marcha incluyó 6 componentes distintos que interaccionan y posibilitan la reutilización e intercambio de aguas residuales en la zona conurbada de San Luis Potosí-Soledad de Graciano. Así, agua de muy alta calidad vertida por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Tenorio se reutiliza en la Central Termoeléctrica (1° componente) como agua de enfriamiento para generación eléctrica (450 l/s), reduciendo en un 34% el costo de agua de primer uso por parte de la central (Rojas, 2011). El costo del tratamiento queda cubierto por la C.F.E., que paga los costos a la Comisión Estatal de Agua. Otros 600 l/s producidos por la PTAR son reutilizados en agricultura (2° componente), incrementando la productividad agrícola y permitiendo a los usuarios agrícolas el cambio a cultivos de mayor plusvalía (p.ej. legumbres u hortalizas). Los usuarios urbanos (3° componente) se benefician de una mejora del entorno ecológico, reduciendo riesgos para la salud, y son eximidos del costo-e del tratamiento de las aguas residuales. La mejora del medio ambiente (4° componente) permite además el desarrollo de especies de importancia ecológica y económica. La Comisión Nacional del Agua (5° componente), que cobra por el uso de agua superficial y subterránea, también se beneficia al reducir la explotación del acuífero, proporcionando una mayor sustentabilidad al recurso. Finalmente, la Comisión Estatal del Agua (6° componente) obtiene recursos por la comercialización del agua tratada con la C.F.E., sin cobrar un sobre costo a usuarios agrícolas o urbanos, y beneficiándose económicamente para realizar nuevas obras (CONAGUA, 2013).

Tanto el “Plan Integral de Saneamiento y Reutilización” como el esquema “ganar-ganar-ganar” se presentan como uno de los modelos más apropiados para preservar reservas naturales en zonas áridas y semiáridas, reconciliando industria y ecología, y permitiendo el seguimiento del uso de las aguas residuales tratadas por parte de los agricultores.

3.3 Beneficios para el medio ambiente

El medio ambiente en su conjunto, y especialmente los ecosistemas acuáticos, se pueden beneficiar del tratamiento y reutilización segura de las aguas residuales. La reutilización puede mejorar la calidad del agua y aumentar su disponibilidad para usos ambientales. Además, los sistemas de reutilización asociados a la agricultura y agro-silvicultura periurbanas tienen un alto potencial de secuestro de carbono y de mitigación del cambio climático.

Los sistemas de tratamiento para reutilización reducen los contaminantes de las aguas residuales. Además, la agricultura realiza un efecto de “filtro verde”, como se ha descrito anteriormente, ya que facilita la absorción de nutrientes por las plantas. Si estos nutrientes se vierten descontroladamente a los cuerpos de agua, pueden provocar serios problemas de eutrofización en aguas superficiales y de contaminación de los acuíferos, por ejemplo, por exceso de nitratos. Es el caso de Sololá (Guatemala), en donde la reutilización de las aguas residuales se ha fomentado y estimulado para evitar el vertimiento de aguas residuales sin tratar al lago Atitlán, y así prevenir episodios de eutrofización. Otro ejemplo de reutilización y su beneficio para el medio ambiente se presenta en la ciudad de Ibagué (Colombia) donde se puso en marcha un proyecto piloto de integración entre el tratamiento de las aguas residuales y su uso agrícola. Así, se emplean reservorios como tratamiento primario de las aguas residuales, que posteriormente son enviadas a los campos de arroz. De esta forma, éstas áreas cultivadas actúan como lagunas de estabilización, disminuyendo la concentración de patógenos y materia orgánica en estos efluentes tratados, y beneficiando al mismo tiempo la actividad con un continuo aporte hídrico. Por otra

parte, los mecanismos de reutilización e intercambio entre la agricultura y el medio ambiente también pueden ser muy beneficiosos. Así, el uso en agricultura de aguas residuales (tratadas o no) puede liberar el agua dulce para usos medioambientales, por ejemplo, para recarga de acuíferos o para aumento de caudales ambientales en los ríos.

Por otra parte, las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero a través del tratamiento de aguas residuales de baja intensidad de carbono y la captura de carbono a través de la producción de biomasa (por ejemplo, lodos de depuración o biomasa agro-forestal) contribuiría a la mitigación del cambio climático, pudiéndose conseguir además créditos de carbono para los mercados voluntarios de carbono o para el Mecanismo de Desarrollo Limpio, y otros pagos por servicios ambientales, que favorecería la viabilidad económica de este modelo. Lagunas anaerobias que normalmente emiten gases como el metano, están siendo cubiertas para captar estos gases y quemarlos. Un caso relevante es la Planta de tratamiento de la Cooperativa de Agua potable y Alcantarillado Sanitario de Santa Cruz (SAGUAPAC) en Bolivia (Moscoso, 2016).

Recuadro 3.2. Oasis recreacional creado por aguas residuales tratadas en Lima, Perú

Con un promedio anual de lluvia caída de 13 mm, los recursos de agua en Lima, la capital de Perú, son muy escasos, llevando al uso de todos los posibles recursos de agua tales como aguas residuales, agua de pozo, y agua extraída del Río Rímac que atraviesa la ciudad. Los parques y jardines ofrecen múltiples beneficios a los ciudadanos, como el Parque Huáscar, que es un parque multipropósito con un gran lago, un pequeño zoológico, un vivero, una cancha de fútbol, áreas recreacionales, huertos de demostración, zona de juegos y áreas de picnic bajo la sombra de los árboles. Además, el parque ofrece oportunidades educativas y de aprendizaje para aquellos que estén interesados en la agricultura, para cultivar hortalizas y plantas ornamentales. El parque recibe agua proveniente de una de las 15 plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima. La planta de tratamiento y el parque están en terrenos públicos y las aguas residuales tratadas son gratis.

El caso del Parque Huáscar donde se combina el tratamiento de aguas residuales y un parque público es de hecho una situación clásica donde todos ganan, ya que reduce la contaminación y optimiza la recuperación de recursos y el consumo en un área urbana. Las aguas residuales tratadas suministran importantes recursos al parque tales como agua y nutrientes, los cuales son extremadamente valiosos en Lima, donde los suelos poseen baja fertilidad y humedad. El parque no necesita agua dulce para riego, ahorrando esta agua para otros usos y mejorando la disponibilidad de nutrientes en los suelos para cultivar plantas y flores, creando de ese modo un “oasis” recreacional en medio de la capital peruana.

Existen dos importantes servicios ecosistémicos locales que se mejoran directamente a través del uso de aguas residuales en el parque: (1) la salud de los ciudadanos, ya que el área verde del parque proporciona un importante espacio para el relajo físico y mental y la recreación tanto para adultos, como para los niños; y (2) prevención de la erosión y mantenimiento de la calidad del suelo debido a que los nutrientes y la materia orgánica presentes en las aguas residuales mejoran la estructura del suelo, la fertilidad y la actividad microbiológica, obteniendo beneficios inmediatos y sustentabilidad del suelo a largo plazo.

Fuente: Di Mario y Drechsel, (2013).

3.4 Referencias

Castro, C., Merzthal, G. & van Veenhuizen, R. 2011. *Integrated Urban Water Management in Lima, Peru: Building capacity for treatment and reuse of wastewater for green spaces and urban agriculture. A review of the SWITCH Lima Project.* Work Package 6.2.: Learning Alliances. SWITCH, Managing Water for the City of the Future.

Dagnino Pastore, J.M., Adolfo Sturzenegger, A., Charreau, E.H., Vardé, O., Conrado Bauer, C. y Bereciartúa P. 2012. El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina La cuestión del agua. *En Diagnostico del Agua de las Américas.* México, D.F.: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.

Di Mario L. & Drechsel, P. 2013. Wastewater reuse: benefits beyond food production (Disponible en: <https://wle.cgiar.org/thrive/big-questions/why-focus-ecosystem-services-rural-communities/wastewater-reuse-benefits-beyond>)

Equihua, L. & Rojas, A. 2013. Tenorio project: a case of sustainable development in Mexico. *Desalination and Water Treatment*, 51(1-3), 169-174.

FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. *Reutilización del agua en la agricultura: ¿beneficios para todos?* Informe sobre temas hídricos 35. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma (disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>).

FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.* Estudio de FAO sobre riego y drenaje 66. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma (disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>).

FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. *Growing Greener Cities in Latin America and the Caribbean. An FAO report on urban and peri-urban agriculture in the region.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

GWl (Global Water Intelligence). 2009. *Global Water Market 2009.* Global Water Intelligence. Vol. 10 (10) Oct. p. 6. www.globalwaterintel.com

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año 2007-2008.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2013. *Sesiones Temáticas: Condiciones para un buen manejo y uso del agua tratada.* Jornadas del Agua UNAM

Lahnsteiner J, Pisani P, Menge J and Esterhizen J. 2013. *More than 40 years of direct potable reuse experience in Windohek.* 351-364. In Lazarova V, Asano T, Bahri A and Anderson J (Eds) Milestones in water reuse. The best success stories. IWA publishing, London

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (Eds.) 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, fourth ed. McGraw-Hill. New York, E.U.A.

Moscoso, J. 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Rojas, A. 2011. *Experiencia del reuso del agua tratada en la Zona Metropolitana de San Luis de Potosí.* Jornadas Técnicas sobre la Recarga Artificial de Acuíferos y Reuso de Agua. Comisión Estatal del Agua. México SLP (disponible en http://www.agua.unam.mx/assets/acuiferos/pdfs/presentaciones/albertorojas_ceaslp.pdf)

Zabalaga, J., Amy, G. & von Münch, E. 2007. Evaluation of agricultural reuse practices and relevant guidelines for the Alba Rancho WWTP (primary and secondary facultative ponds) in Cochabamba, Bolivia. *Water Science & Technology*, 55(1-2), 469-475.

CAPÍTULO 4

Mitigación de riesgos en los sistemas de uso agrícola de aguas residuales y ejemplos en América Latina y el Caribe

Bernard Keraita, Javier Mateo-Sagasta, Manzoor Qadir, Kate Medicott, Pay Drechsel, Birguy Lamizana



A pesar de los numerosos beneficios potenciales de la reutilización del agua, si esta práctica no se gestiona apropiadamente, puede ocasionar graves riesgos para la salud de las personas, los ecosistemas y los cultivos. Este capítulo analiza y resume esos riesgos y la forma como se pueden mitigar.

4.1 Riesgos para la salud y mitigación de riesgos

¿Cuáles son los riesgos para la salud?

Las aguas residuales, especialmente cuando no están tratadas, pueden contener altas concentraciones de patógenos fecales (bacterias, nematodos, protozoos y virus), sustancias irritantes de la piel y químicos tóxicos como metales pesados y residuos de pesticidas, lo que pone en riesgo la salud de las personas (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Cuando las aguas residuales se utilizan en la agricultura, los patógenos son el principal peligro para la salud humana por su exposición a través de diferentes vías (Cuadro 4.1). Estas vías de exposición son principalmente el contacto con aguas residuales (agricultores, trabajadores de campo, y comunidades aledañas) y el consumo de productos cultivados con aguas residuales (consumidores).

Cuadro 4.1. Ejemplos de diferentes tipos de peligros asociados con el uso de aguas residuales municipales en la agricultura de los países en vías de desarrollo.

Peligro	Ruta de Exposición	Grado de importancia
Bacterias (por ejemplo <i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp.)	Contacto; Consumo	Bajo–alto
Helminthos (gusanos parasitarios)		
• <i>Ascaris</i> , anquilostomas, <i>Taenia</i> spp. y otros helmintos transmitidos a través del suelo	Contacto; Consumo	Bajo–alto
• <i>Schistosoma</i> spp.	Contacto	Nulo–alto
Protozoos (<i>Giardia intestinalis</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba</i> spp.)	Contacto; Consumo	Bajo–medio
Virus (por ejemplo virus de la hepatitis A, virus de la hepatitis E, adenovirus, rotavirus, norovirus)	Contacto; Consumo	Bajo–alto
Irritantes de la piel	Contacto	Medio–alto
Patógenos transmitidos por vectores (<i>Filaria</i> spp., virus de la encefalitis japonesa, <i>Plasmodium</i> spp.)	Contacto con el vector	Nulo–medio
Metales pesados y metaloides (por ejemplo, arsénico, cadmio, plomo, mercurio)	Consumo	Generalmente bajo
Hidrocarburos halogenados (dioxinas, furanos, PCB)	Consumo	Bajo
Pesticidas (aldrín, DDT)	Contacto; Consumo	Bajo

Fuente: Adaptado de la OMS (2006)

En la región de América Latina y el Caribe (ALC), las enfermedades infecciosas son una de las principales causas de mortalidad y morbilidad, particularmente en niños menores de cinco años. Esta situación se debe en parte al bajo saneamiento y la baja cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales

que lleva a la contaminación de las aguas y favorece que cientos de miles de hectáreas se rieguen con aguas residuales sin tratar o tratadas de forma inadecuada (ver capítulo 2), lo que genera grandes riesgos de transmisión de enfermedades entéricas.

¿Cómo se evalúan los riesgos para la salud?

La evaluación de los riesgos para la salud es el proceso mediante el cual se calcula la naturaleza y probabilidad de los efectos adversos para la salud en personas que puedan estar expuestas a peligros, tales como patógenos y químicos tóxicos provenientes de ambientes contaminados. Comúnmente se utilizan tres tipos de evaluaciones para estimar los riesgos para la salud en la agricultura regada con aguas residuales: (i) Análisis de laboratorio microbiano y químico (ii) estudios epidemiológicos y (iii) evaluaciones cuantitativas de riesgos microbianos (o químicos) (QM(C)RA-por su sigla en inglés) (Mara y Bos, 2010). El Cuadro 4.2 muestra las contribuciones y limitaciones de cada evaluación.

Análisis de laboratorio: Los análisis de laboratorio, microbianos y químicos, se pueden utilizar para indicar que existe un peligro en el ambiente. Los datos provenientes del análisis de laboratorio también se pueden usar para apoyar estudios epidemiológicos y QM(C)RA. Los análisis completos de patógenos pueden ser muy costosos y difíciles de realizar, por lo que a menudo se seleccionan indicadores de patógenos (por ejemplo, *Escherichia coli* como indicador de contaminación fecal). La información obtenida en los análisis de laboratorio incluye los tipos y cantidades de patógenos y químicos presentes en aguas de riego o en los cultivos regados, lo cual se usa después para caracterizar y cuantificar el riesgo para la salud. Como los tipos y concentraciones de patógenos y químicos en aguas de riego o cultivos regados pueden variar ampliamente, es necesario recolectar datos específicos del lugar.

Estudios epidemiológicos: Los estudios epidemiológicos determinan, ya sea la excesiva prevalencia de la infección (medida a través de la proporción de personas infectadas o seropositivas en un grupo expuesto en comparación con aquellos en un grupo de control) o la prevalencia o incidencia excesiva de la enfermedad (que ocurre durante un período específico de tiempo). Por ejemplo, las personas que están consumiendo hortalizas para ensaladas regadas con aguas residuales, o están trabajando (o jugando) en áreas verdes regadas con aguas residuales, representan a los grupos expuestos, y aquellos que no consumen hortalizas provenientes de dichos cultivos o no trabajan (o juegan) en campos regados con aguas residuales, son los grupos de control. Estudios epidemiológicos realizados en México, un país con una larga historia de riego con aguas residuales, asociaron claramente altos niveles de patógenos en el agua de regadío con altos niveles de infección en la población expuesta (Blumenthal y Peasey, 2002).

QMRA (Evaluación Cuantitativa del Riesgo Microbiano): es una evaluación del impacto *ex-ante que se basa en el concepto de evaluación del riesgo para calcular las consecuencias provenientes de una exposición planeada o real a microorganismos infecciosos* (Haas *et al.* 1999). Es una evaluación prospectiva, más que una extrapolación de evaluaciones *ex post*, y ha sido usada ampliamente en análisis recientes. Este enfoque implica la identificación del peligro, la evaluación de la exposición, la relación dosis-respuesta y la caracterización del riesgo. El QMRA es el instrumento recomendado para determinar riesgos para la salud provenientes de enfermedades virales, bacterianas y de protozoos parásitos, mientras que para las enfermedades helmínticas se utilizan estudios epidemiológicos (Mara y Bos, 2010). En las guías de la OMS del 2006, se seleccionaron tres patógenos “indicadores” para la QMRA: rotavirus, un patógeno viral; *Campylobacter*, un patógeno bacteriano; y *Cryptosporidium*, un patógeno protozoario. Se puede aplicar el mismo proceso para la evaluación cuantitativa de riesgos químicos (QCRA-por sus siglas en inglés).

Cuadro 4.2. Métodos utilizados para evaluar los riesgos para la salud.

Tipo de estudio	Contribuciones	Limitaciones
Análisis microbiano en laboratorio	<p>Determina las concentraciones de diferentes organismos de las excretas en aguas residuales o en cultivos</p> <p>Ofrece datos sobre las tasas de muerte de los patógenos</p> <p>Puede ayudar a identificar fuentes de patógenos</p> <p>Utilizado para vincular al patógeno con la infección/enfermedad</p>	<p>Costoso</p> <p>La recolección de muestras y los análisis puede llevar mucho tiempo</p> <p>Necesita personal y laboratorios capacitados Falta de procedimientos estandarizados para la detección de algunos patógenos o su recuperación de los productos alimenticios</p> <p>Los porcentajes de recuperación pueden mostrar una alta variabilidad</p> <p>Algunos métodos no determinan viabilidad</p>
Estudios epidemiológicos	<p>Miden la tasa de enfermedad real en una población expuesta</p> <p>Se pueden utilizar para examinar diferentes hipótesis de exposición</p>	<p>Costoso</p> <p>Los sesgos pueden afectar los resultados</p> <p>Se necesitan muestras de gran tamaño</p> <p>Se debe estudiar el equilibrio intensidad-sensibilidad</p>
QMRA	<p>Puede calcular niveles muy bajos de riesgo de infección/enfermedad</p> <p>Método de bajo costo para predecir el riesgo de infección/enfermedad</p> <p>Facilita la comparación de diferentes vías de exposición</p>	<p>Los escenarios de exposición pueden variar significativamente y son difíciles de modelar</p> <p>Los aportes de datos validados no están disponibles para cada escenario de exposición</p> <p>Predice el riesgo proveniente de la exposición solo para un tipo de patógeno a la vez</p>

Fuente: OMS (2006)

Cuadro 4.3. Ejemplos de organismos indicadores de patógenos humanos en aguas residuales.

Patógenos humanos	Organismos Indicadores	Comentarios
<p>Bacterias:</p> <p><i>Shigella</i>, enterotoxigénico <i>E. coli</i>, <i>Campylobacter</i>, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera)</p>	<p><i>E. coli</i>, coliformes termotolerantes, enterococcus intestinal</p>	<p>Utilizado por más de 100 años como modelo para bacterias patógenas.</p> <p>El comportamiento bajo condiciones ambientales refleja patógenos entéricos, pero no bacterias ambientales.</p>
<p>Virus:</p> <p>Adenovirus, Rotavirus, Enterovirus, virus de la Hepatitis A, norovirus</p>	<p>Bacteriófagos – colifagos somáticos o colifagos de ARN F</p>	<p>Los bacteriófagos son virus que infectan bacterias, son considerados como no patógenos para los seres humanos y pueden ser cultivados y detallados fácilmente en laboratorio.</p>
<p>Protozoos:</p> <p>Ooquistes de <i>Cryptosporidium</i>, <i>Clostridium perfringens</i> cistos de <i>Giardia</i></p>		<p>Bacteria formadora de esporas, altamente resistente a las condiciones ambientales.</p> <p>Modelo útil para ooquistes de <i>Cryptosporidium</i> y cistos de <i>Giardia</i>.</p>
<p>Helmintos:</p> <p><i>Ascaris lumbricoides</i> y huevo de <i>Trichuris trichiura</i></p>	<p>Huevo de <i>Ascaris</i></p>	<p><i>Ascaris</i> y otros huevos de helmintos (ej., <i>Trichuris</i>, <i>Taenia</i>) pueden ser medidos directamente.</p> <p>Se puede determinar la viabilidad de los huevos.</p>

Fuente: Adaptado de OMS (2006)

¿Cómo se pueden mitigar los riesgos para la salud?

Se han propuesto distintos enfoques para mitigar los riesgos. Tradicionalmente, los enfoques utilizados han tenido un fuerte énfasis en la calidad del agua y en estrictas regulaciones en el lugar de uso, haciendo que el tratamiento de las aguas residuales sea elemental para la reutilización del agua (Asano y Levine, 1998; OMS, 1989). Para la Unión Europea, por ejemplo, el proyecto Aquarec propone siete categorías de calidad (basadas en el tratamiento) para los distintos tipos de reutilización, con límites microbianos y químicos para cada categoría (Salgot *et al.*, 2006).

Sin embargo, en países con bajos ingresos, las estrictas normas de calidad del agua para su reutilización a menudo se perciben como inasequibles y, por lo tanto, fracasan. Las guías más recientes de OMS-FAO-ONU Medio Ambiente (OMS, 2006) para el uso seguro de las aguas residuales reconocen y admiten que la reducción de los riesgos para la salud es necesaria y posible, aún en escenarios donde las aguas residuales no son tratadas o se tratan de forma inadecuada. Para lograr esto, las guías van más allá de recomendar normas de calidad del agua para posibilitar también opciones de mitigación de riesgos en la explotación agrícola y post cosecha, en lugares donde no existen alternativas viables para evitar el uso de agua de regadío contaminada. Este concepto de seguridad más amplio sigue los principios del enfoque del Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), que es extensamente utilizado en la industria alimentaria y en el manejo de la seguridad del agua potable, y se condice con el Convenio de Estocolmo para el desarrollo de guías armonizadas (OMS, 2006).

Las guías (OMS, 2006) proponen el uso del enfoque de barreras múltiples a lo largo de la cadena alimentaria y de saneamiento, desde la generación de las aguas residuales hasta el consumo de los alimentos, en vez de enfocarse sólo en la calidad de las aguas en el lugar de uso (Figura 4.1). Por ejemplo, las barreras se pueden colocar en los puntos de generación de aguas residuales (tratamiento de bajo costo), en los predios agrícolas (lagunas de sedimentación, restricción de cultivos o técnicas de riego más seguras), en mercados (lavado de cultivos con agua más limpia), e incluso a nivel del consumidor (desinfección, cocción o descascarado). Estas prácticas deben ir unidas al control de la exposición de las personas (por ejemplo, guantes y botas para los agricultores) y pueden requerir la participación de una amplia gama de actores, más allá de los responsables de las instalaciones de tratamiento las aguas residuales. Este enfoque es más factible en países o ciudades donde el tratamiento y la desinfección exhaustiva de las aguas residuales están fracasando, debido a los altos costos de construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, que además requieren de altas capacidades técnicas y de gestión. El enfoque de barreras múltiples permite un sistema regulatorio más flexible, en sintonía con las realidades socioeconómicas del país o la localidad. Se pueden encontrar ejemplos de su aplicación en países con diferentes niveles de desarrollo en las guías publicadas por la OMS (2010).

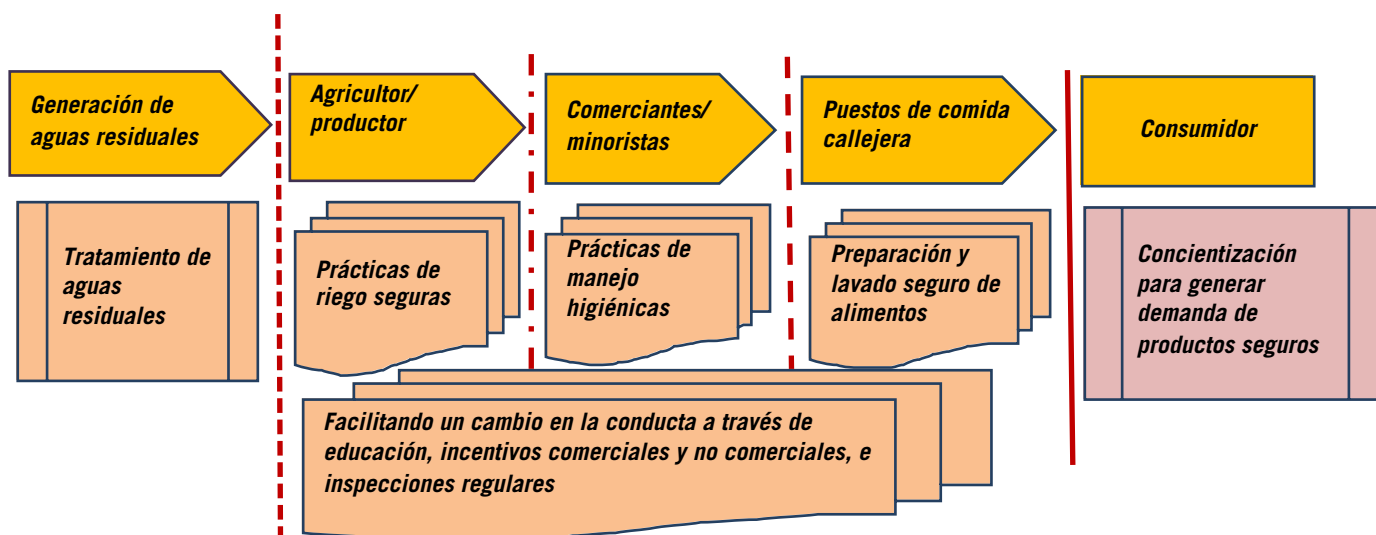


Figura 4.1. Enfoque de barreras múltiples y su aplicación en el riego con aguas residuales. (Fuente: Amoah *et al.*, 2011)

Una combinación de estas medidas (o barreras) debe ser suficiente para lograr un nivel aceptable del control de riesgo para la salud. Por ejemplo, el uso de aguas residuales parcialmente tratadas puede ser seguro, si se riegan cultivos no destinados al consumo crudo, tales como los cultivos industriales; es lo que se llama riego restringido (Mara *et al.*, 1996; Juanicó y Milstein, 2004). El tratamiento parcial utilizando reservorios de almacenamiento y tratamiento de aguas residuales en el norte de Brasil ha mostrado un gran potencial en la reducción de patógenos en las aguas residuales (Mara *et al.*, 1996). En general, cuando estos sistemas se diseñan, operan y gestionan apropiadamente pueden lograr una eliminación de entre 99% y 99,99% de virus, de 99,9% a 99,9999% de patógenos bacterianos y un 100% de huevos de helmintos (Juanicó y Milstein, 2004).

Con respecto a las restricciones en los cultivos se han documentado varios ejemplos exitosos en ALC, incluyendo México, Chile y Perú (Blumenthal *et al.*, 2000). Por ejemplo, se atribuyó una reducción de más de 90% en casos de cólera ocasionados por el consumo de hortalizas para ensaladas en la ciudad de Santiago de Chile en 1993, por el hecho de que se dejaron de regar estas hortalizas con aguas residuales en 1992 (Blumenthal *et al.*, 2000). Los métodos de riego por gravedad, tales como inundación o surco utilizados en muchos países de la región incluyendo México y Bolivia, generan grandes riesgos para los trabajadores agrícolas y contaminan los cultivos de tallo bajo (Blumenthal *et al.*, 2000; Huibers *et al.*, 2004). El riego localizado, como el goteo, ofrece el mayor grado de protección para la salud (Pescod, 2002), ya que casi no existe contacto entre el agua residual (tratada) y los cultivos. Estudios provenientes de ALC sobre el cese de riego antes de la cosecha muestran que un período de más de 8 días pueden posibilitar la muerte de bacterias y virus, de modo que la calidad de los cultivos regados mejora (Peasey *et al.*, 2000). Esto es particularmente efectivo en condiciones calurosas y secas. No obstante es difícil garantizar su cumplimiento, especialmente donde el valor de las hortalizas depende de su aspecto fresco en los mercados.

En general, los riesgos para la salud ocasionados por el riego con aguas residuales en un buen número de países de ALC están bien documentados. A pesar de que algunos estudios muestran contaminación química provocada por salinización y metales pesados, los riesgos microbianos tienen todavía mayor importancia. Cada vez existe más literatura internacional sobre herramientas para evaluación de riesgos e instrumentos de análisis tales como la QMRA, que pueden ser utilizados en países de ALC. Ya que muchos países (o áreas dentro de los países) de ALC poseen ingresos medios o bajos, el enfoque basado en barreras múltiples ofrece una opción realista para la mitigación del riesgo para la salud.

La OMS ha elaborado recientemente un Manual para planificar el saneamiento seguro en las experiencias de uso de aguas residuales, instrumento que permitirá aterrizar las estrategias recomendadas por las Guías de 2006. En 2013 se realizaron estudios de caso a nivel global, dos de ellos en Lima, Perú para la ALC. Actualmente la Organización Panamericana de la Salud OPS está elaborando diversos instrumentos (por ejemplo, un curso virtual) para promover la planificación de saneamiento seguro en los diferentes países de la Región (OPS, 2015).

4.2 Riesgos medioambientales fuera de la explotación agrícola y mitigación de riesgos

Riesgos medioambientales

Aun cuando el reciclaje de las aguas residuales tratadas y el aporte de nutrientes a los suelos regados pueden ofrecer múltiples beneficios medioambientales (ver capítulo 3), existen algunos riesgos ambientales anexos cuando se utilizan aguas residuales parcialmente tratadas o sin tratamiento alguno. Estos riesgos incluyen la contaminación del agua subterránea y la degradación del agua superficial.

El uso de aguas residuales tiene el potencial de recargar los acuíferos subterráneos (externalidad positiva), pero también de contaminarlos (externalidad negativa). La percolación del exceso de nutrientes, sales y patógenos a través del suelo puede ocasionar la degradación del agua subterránea (Tang *et al.*, 2004). Sin embargo, el impacto real dependerá de una gama de factores, incluyendo el grado de uso de aguas residuales, la calidad del agua subterránea, la profundidad de la capa freática, el sistema de drenaje, y las características del suelo (estructura y textura: arcillosa, limosa o arenosa). En áreas con capas freáticas superficiales y/o con suelos arenosos el impacto del riego con aguas residuales en la calidad del agua subterránea puede ser significativo.

Otro riesgo es la escorrentía desde los sistemas de riego con aguas residuales hacia el agua superficial, particularmente pequeños lagos y cuerpos de agua confinados, que entre otros contaminantes pueden recibir un exceso de nutrientes que generen eutrofización, especialmente si se acumulan fosfatos en forma de ortofosfatos. El exceso de nutrientes provoca un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas. Los desequilibrios en las comunidades microbiológicas de algas en los cuerpos de agua pueden afectar otras formas superiores de vida acuática y reducir la biodiversidad. Si estos cuerpos de agua abastecen a las comunidades locales los impactos ecológicos se pueden traducir en impactos económicos, aspecto que debe ser considerado con mucha atención. La movilidad de los contaminantes y su capacidad de acumularse, agravan la amenaza que generan al medioambiente y a la sociedad. Una vez que un cuerpo de agua se contamina, pierde sus funciones primarias y los servicios que ofrece a la economía y la sociedad se ven afectados (Mayer *et al.*, 2013).

Tecnologías adecuadas de tratamiento para la reutilización

Una manera de prevenir la entrada de contaminantes en los sistemas agrícolas regados con aguas residuales es eliminar esos contaminantes de las aguas residuales antes de su uso mediante el uso de tecnologías apropiadas. El tratamiento de aguas residuales antes de la reutilización puede servir, no solo para mitigar los riesgos para el medio ambiente, sino también para la salud pública (sección 4.1) y los cultivos (sección 4.3). Una tecnología de tratamiento apropiada debe ser económicamente viable, socialmente aceptable y adecuarse a las capacidades locales. Dada la gran diversidad económica, social y ambiental en la Región no es posible sugerir un único tipo de tecnología válido para todos los contextos. Esta sección se centrará en tecnologías para un contexto socio-económico de bajos ingresos y con capacidades limitadas. En este contexto, los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados y de ingeniería avanzada no han tenido éxito. Por el contrario, los sistemas de tratamiento de bajo costo, fáciles de operar y descentralizados son la tendencia emergente (Rose, 1999; Libhaber y Orozco-Jaramillo, 2012). Por otra parte, la gestión urbana de aguas residuales que promueve la recuperación y reutilización de los recursos es cada vez más relevante y frecuente. En el tratamiento de las aguas residuales es importante que los nutrientes (nitrógeno y fósforo) se conserven, si esta agua se destina al riego agrícola y que se elija la tecnología apropiada.

Existe una amplia variedad de procesos tratamiento de aguas residuales que han demostrado su eficacia en contextos de bajos ingresos. La mayoría de estos ejemplos son sistemas descentralizados, cuya ventaja es el ahorro en transporte, almacenamiento y bombeo para elevar las aguas residuales, así como la posibilidad de reutilizar el efluente. Además, un problema que se presente en una de las unidades descentralizadas no hace que colapse todo el sistema. El potencial local es que los sistemas pequeños pueden ser diseñados, construidos y gestionados por profesionales locales, mejorando la economía local.

Blumenthal *et al.*, (2000) y Libhaber y Orozco-Jaramillo (2012) señalan como ejemplos de procesos unitarios apropiados en países en desarrollo los siguientes: fosas sépticas, tratamientos primarios químicamente mejorados, filtros verdes, humedales artificiales, lagunas de estabilización o tratamientos anaerobios como los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA), estos últimos especialmente efectivos en climas cálidos. Ninguna de estas tecnologías requiere que se suministre mecánicamente el oxígeno. Precedidos de pre-tratamiento, estos procesos unitarios y otros similares se pueden combinar para conseguir un efluente de la calidad necesaria para su reutilización.

En los filtros verdes las aguas residuales se suministran al suelo donde hay plantadas una o más especies, que deben ser de crecimiento rápido y tolerar el encharcamiento. Se suele usar riego superficial intermitente, donde se alterna el riego con la re-oxigenación natural del suelo, para favorecer el crecimiento de organismos aerobios en el suelo y evitar fermentaciones indeseadas. En los lagunajes, las aguas residuales corren a través de una serie de lagunas y el tratamiento se realiza por acción de la luz solar, sedimentación y fomento del crecimiento de algas, las cuales proveen a la laguna de oxígeno. Los humedales artificiales son sistemas que imitan los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. Básicamente, se subdividen en dos grandes grupos: (i) flujo superficial (el agua o las aguas residuales fluyen a través de la superficie del suelo); y (ii) flujo hipodérmico (flujo vertical y horizontal). Los sistemas de macrofitas acuáticas flotantes y emergentes, tales como jacinto de agua y lenteja de agua, lechuga de agua, y la salvinia (*salvinia spp.*) son capaces de producir biomasa en cantidades suficientes para que la operación sea rentable, si la biomasa se vende como forraje animal, alimento de peces o como fuente de energía. Además, los niveles de DBO_5 , DQO, TSS, N, P, virus y bacterias se pueden reducir y el agua resultante puede ser apta para utilizarse en riego y acuicultura. Otros enfoques, tales como el Saneamiento Ecológico (EcoSan en inglés) también poseen grandes ventajas. Los sistemas de EcoSan consideran las excretas humanas, los desechos orgánicos y las aguas residuales

como un recurso (no un desecho) con alto potencial para su reutilización y reciclado. Estos permiten una recuperación total de nutrientes en las aguas residuales de los hogares y su reutilización en la agricultura familiar. También ayudan a preservar la fertilidad del suelo y a salvaguardar la seguridad alimentaria en el largo plazo. Además, se minimiza el consumo y la contaminación de los recursos del agua.

Recuadro 4.1 Estanques simples y de bajo costo para reducir la contaminación de hortalizas y promover la acuicultura en Lima, Perú.

La agricultura en la parte Este de Lima produce hasta 15% de las hortalizas que se consumen en la ciudad. El agua proveniente del Río Rímac se utiliza para riego, pero está contaminada por vertimientos de aguas residuales sin tratar como resultado la expansión urbana sin planificación en la parte baja de la cuenca.

Aunque no se observó que los metales pesados fueran el principal problema en las aguas de riego, sí se detectaron altos niveles de coliformes fecales y parásitos provenientes principalmente de aguas residuales domésticas sin tratar vertidas en el río. Más del 97% de las muestras de agua provenientes de los canales de regadío estaban muy por encima de los límites máximos permitidos para coliformes fecales. Los análisis en lechugas y rábanos, hortalizas, que normalmente se consumen crudas, mostraron que entre el 17% y el 31% de las muestras sobrepasaban los límites permitidos.

Se procedió a la construcción de pequeños reservorios como una opción factible para reducir los patógenos y parásitos, considerando que el tiempo de retención hidráulica fuese de 10 a 14 días. Se comparó la calidad del agua proveniente del proceso de tratamiento y del agua del río sin tratar como fuentes de riego para las hortalizas. Los resultados mostraron que el reservorio eliminó todos los parásitos humanos presentes en el agua de regadío y redujo hasta menos de 1 000 coliformes fecales/100 ml. Cuando se examinaron los rábanos y lechugas regadas con agua tratada, éstas tenían hasta 97% menos de bacterias fecales, muy por debajo de los límites permitidos, mientras que los parásitos estaban prácticamente ausentes en ambos cultivos.

Además, el riego con agua del reservorio parece tener también un efecto beneficioso, tanto en la tasa de crecimiento, como en la uniformidad del cultivo, con porcentajes más altos de productos comercializables disponibles antes que los obtenidos con el uso directo del agua del río. Esta tecnología simple y de bajo costo captura los nutrientes provenientes del agua de regadío y del cultivo de peces, permitiendo una mayor producción de hortalizas.

Un inconveniente de este tipo de tratamiento mediante reservorios es que ocupa tierra potencialmente productiva. Por lo tanto, estos pequeños reservorios fueron evaluados como sistemas acuícolas para compensar la pérdida de tierra agrícola y brindar a la familia peces, ya sea para consumo o venta. Utilizando 450 kg de alimento para peces fue posible producir 400 kg de Tilapia del Nilo en un reservorio de 500 m² con una productividad mayor a 0,73 kg/m². El costo estimado fue de alrededor de \$ 470 dólares americanos, con ganancias provenientes de las ventas que alcanzaron los \$ 880 dólares americanos.

El reservorio es un medio para mejorar el ingreso de los agricultores que pueden vender hortalizas y pescados limpios, mejorando a su vez la salud de las personas y conservado el ambiente natural. Estas ventajas económicas son llamativas para otros agricultores en el área, algunos de los cuales han manifestado interés en construir un tanque en su tierra.

Fuente: Moscoso, J., Juárez H. y Alfaro, T. (2008)



Figura 4.2. Reservorio de Carapongo, Perú.



Figura 4.3. Crianza de peces en el reservorio de Carapongo, Perú.

Medidas en la explotación agrícola para mitigar los riesgos ambientales

Si se usan aguas residuales parcialmente tratadas, las aguas de riego todavía pueden tener sustancias peligrosas para el medio ambiente, tales como excesos de sales, nutrientes o metales y metaloides. Si se quiere proteger el medio ambiente, se deberá evitar la incorporación de estas sustancias a los cuerpos de agua y al medio ambiente en general.

Selección de cultivos y prácticas agrícolas

Si el problema es un exceso de nutrientes en las aguas de riego, los agricultores podrán seleccionar cultivos con una alta tasa de utilización de nutrientes, por ejemplo los forrajes el tabaco. Esto reducirá la concentración de nutrientes en las aguas de drenaje o lixiviación, reduciendo así los riesgos para el medio ambiente. También se pueden usar estrategias basadas en los tipos de suelo. Por ejemplo, los suelos arcillosos o franco-limosos pueden retener mejor los nutrientes que los suelos arenosos. En general hacen falta directrices para regular los aportes de nutrientes a los suelos regados con aguas residuales (Lazarova y Bahri, 2005).

Si el problema es un exceso de sales en las aguas de riego, los agricultores también pueden seleccionar cultivos o variedades de cultivos con una alta tasa de absorción de sales, de forma que reduzca el contenido de éstas en las aguas de drenaje o lixiviación.

En el caso de los metales pesados u otros microcontaminantes tóxicos, persistentes y que se acumulan en las cadenas tróficas, sin duda lo ideal es prevenir que entren en los sistemas agrícolas o el medio ambiente, evitando los vertimientos industriales ilegales y favoreciendo su eliminación en el lugar de origen o tratando estas aguas antes de ser usadas. Las técnicas disponibles para regenerar suelos contaminados por metales pesados o metaloides incluyen opciones de ingeniería in-situ y ex-situ, inmovilización de metales en el suelo, fito-remediación, fito-extracción mejorada con quelatos y el uso de cultivos transgénicos (Qadir *et al.*, 2000; Rai, 2012).

Minimización de la percolación y gestión del drenaje

Una manera de reducir la incorporación de contaminantes a los cuerpos de agua es ajustando las dosis de riego a los requerimientos de los cultivos, de manera que se minimice la cantidad de agua que percola hacia el acuífero o drena hacia las aguas superficiales y las cargas contaminantes asociadas.

Sin embargo, cuando se usan aguas salinas o salobres para riego, se requiere aplicar dosis extra de agua (fracción de lavado) y favorecer el drenaje a fin de mantener el balance de sal en el perfil del suelo y sustentar la producción eficiente de los cultivos (FAO, 2007; Qadir y Drechsel, 2010). La salinidad del agua de drenaje puede ser hasta 50 veces mayor que la del agua de regadío y su vertido puede aumentar la salinidad de los cuerpos de agua receptores. El desafío es minimizar los impactos medioambientales en los ecosistemas vinculados con estos cuerpos de agua. La FAO ha elaborado directrices para planificar y diseñar sistemas de drenaje (FAO, 2005 y 2007) que al mismo tiempo protejan los recursos hídricos de los impactos negativos del vertimiento de agua de drenaje agrícola (FAO, 2002). En el caso de napas freáticas poco profundas o suelos de textura gruesa (suelos arenosos altamente permeables), se debe evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

4.3 Riesgos agronómicos en la explotación agrícola y mitigación de riesgos

Riesgos para la productividad de los cultivos

Aun cuando la recuperación y reutilización de las aguas residuales ofrece importantes beneficios para la producción agrícola (ver capítulo 3), el uso de estas aguas no tratadas o tratadas de forma inadecuada puede conllevar riesgos que pueden afectar la productividad de los cultivos. Estos riesgos se pueden agrupar en (1) salinidad y sodicidad (2) toxicidad iónica específica y (3) sólidos suspendidos y obturación (FAO, 1985). Los impactos dependen de la fuente, la intensidad de uso y composición de las aguas residuales, las propiedades del suelo y las características de las plantas y cultivos (Hamilton *et al.*, 2005).

Salinidad y sodicidad: Las sales sólo se pueden eliminar de las aguas residuales utilizando procesos costosos y que consumen energía, tales como osmosis inversa o nano-filtración. Con tratamientos secundarios, las sales siguen disueltas en el agua tratada, muchas veces en altas concentraciones, dificultando que las plantas absorban esta agua y ocasionando reducciones en el rendimiento de las cosechas. El indicador más común para monitorear la salinidad del agua es la Conductividad Eléctrica (CE). Con una CE superior a 2 dS/m se pueden comenzar a acumular estas sales en los suelos, evitando que las plantas absorban agua e impactando la productividad de muchos cultivos. Por ejemplo, cuando la CE es superior a 2 dS/m, la producción de cítricos cae en más de un 50% (FAO, 1985). La sodicidad se refiere a la presencia de grandes proporciones de iones de sodio en relación a los iones de calcio y magnesio. La sodicidad degrada la estructura del suelo y tiene como consecuencia un suelo más fácilmente erosionable y menos permeable al agua, lo que reduce el crecimiento de la planta.

Toxicidad iónica específica: Nutrientes, metales pesados y otros oligoelementos pueden estar presentes en exceso en el agua de regadío, generando impactos sobre la producción de los cultivos. Por ejemplo, la concentración de boro (B) mayor a 0.7mg/l es común en efluentes provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales y esta concentración ya es tóxica para cultivos menos tolerantes (FAO, 1985).

Sólidos suspendidos y obturación: El exceso de sólidos suspendidos en el agua de regadío puede dañar los motores de riego y obstruir los dispositivos de riego localizados, tales como goteros para riego. Por ejemplo, muchos filtros comerciales para riego por goteo no toleran concentraciones sobre 100mg/l.

Los sólidos suspendidos pueden estar originalmente presentes en el agua o ser producidos como consecuencia del crecimiento de algas en reservorios y canales utilizados para el almacenamiento y transporte de aguas residuales (tratadas) ricas en nutrientes.

Mitigación de riesgos para la productividad de cultivos

En proyectos de reutilización que usen aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas, las principales estrategias en la explotación agrícola para minimizar los riesgos agronómicos y maximizar la productividad se pueden agrupar en: (1) selección y diversificación de cultivos; (2) manejo del agua de riego y (3) manejo del suelo.

Selección y diversificación de cultivos: los agricultores generalmente seleccionan sus cultivos en base a los ingresos esperados provenientes del mercado o subvenciones y normalmente eligen variedades bien adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de sus explotaciones. Donde se utilicen aguas residuales para riego, se deben considerar criterios adicionales para la selección de cultivos, tales como su tolerancia a la salinidad y a ciertos iones tóxicos. Al usar aguas salobres, es vital seleccionar cultivos capaces de tolerar una salinidad relativamente alta, tales como ciertos pastos y cultivos forrajeros, cultivos industriales y árboles frutales y sistemas agroforestales, los cuales se pueden adaptar a entornos afectados por la sal (FAO, 1985; Maas y Grattan, 1999) (Cuadro 4.4). Por otra parte las aguas residuales, incluso después de ser sometidas a tratamiento secundario, pueden contener iones tóxicos peligrosos para las plantas y la salud de las personas. Algunos, como el cobre y el zinc, son tóxicos para las plantas, antes de que alcancen concentraciones suficientemente altas como para ser tóxicas para los seres humanos, por tanto estas plantas funcionan como un indicador de potenciales riesgos para la salud (Hamilton *et al.*, 2005). Existen plantas que poseen diferentes tolerancias a ciertos iones tóxicos, por ejemplo, la zanahoria, el repollo y la cebolla son más tolerantes al boro que muchos árboles frutales, tales como cítricos, damascos o manzanas. Esto también será importante para la selección del cultivo.

Cuadro 4.4. Tolerancia de algunos cultivos a la salinidad.

Conductividad Eléctrica del agua de riego (dS/m, y mg/l)					
<2	2-3	3-4	4-5	5-7	>7
<1280	1280-1920	1920-2560	2560-3200	3200-4480	>4480
Cítricos	Higo	Sorgo	Soja	Cártamo	Algodón
Manzana	Aceitunas	Maní o Cacahuete	Palma datilera	Trigo	Cebada
Durazno o Melocotón	Brócoli	Arroz	Alpiste bulboso	Remolacha azucarera	Trigo forrajero
Uva	Tomate	Remolacha	Trébol	Raygras	
Frutilla	Pepino	Festuca	Alcachofa	Cebada	
Papa	Melón			Pasto Bermuda	
Pimentón	Sandía			Sudax	
Zanahoria	Espinaca				
Cebolla	Veza				

Fuente: Adaptado de FAO (1985)

El manejo del agua de riego ofrece una variedad de prácticas para mitigar los riesgos para los cultivos regados con aguas residuales parcialmente tratadas. La acumulación de salinidad en el suelo se puede reducir aplicando agua de riego en exceso (fracción de lavado) o regando antes de la lluvia para favorecer el drenaje de sales del perfil del suelo. El lavado y drenaje de sales se deberá acompañar con medidas que minimicen los impactos ambientales de estos drenajes, tal como se discute en el apartado 4.2. También se puede mejorar la calidad del agua de riego (por ejemplo, para reducir la salinidad o la concentración de sólidos suspendidos) mezclando aguas residuales (parcialmente tratadas) con agua dulce. Si los sólidos en suspensión de las aguas ponen en peligro los sistemas de riego (como bombas de agua o goteros), que se pueden obstruir, se debe emplear un tratamiento simple en la explotación agrícola, tales como tanques de sedimentación o sistemas de filtración. Estos tratamientos en la explotación agrícola requieren de espacio disponible, seguridad suficiente en la tenencia de la

tierra para permitir la instalación de la infraestructura y una pendiente adecuada para posibilitar el flujo por gravedad de las aguas. Estos tanques de decantación, que requieren poca energía y mantenimiento, tienen la ventaja adicional de que eliminan patógenos por sedimentación y por la acción de la radiación solar (Mara, 2004; Keraita *et al.*, 2014). El filtrado del agua de riego es también una opción de bajo costo para eliminar sólidos en suspensión (y patógenos). En comparación con los sistemas de lagunas, tiene la ventaja adicional de funcionar incluso a pequeña escala, como la filtración de agua en los hogares.

El manejo del suelo también es importante al regar con aguas residuales, particularmente en el caso de contaminantes inorgánicos, los cuales generalmente se acumulan en la parte superior del suelo (cubierta 0,3 m), debido al fuerte fenómeno de absorción y precipitación (Simmons *et al.*, 2010). Para niveles moderados de metales y metaloides en aguas residuales, no se necesita un manejo particular, si los suelos son calcáreos, es decir, si contienen niveles apreciables de calcita que inmoviliza la mayoría de los metales. No obstante, los iones metálicos pueden ser un problema en suelos ácidos, los cuales pueden requerir medidas de manejo específicas, tales como el encalado, evitar el uso de fertilizantes con reacciones acidificantes, y la selección de cultivos que no acumulen metales de consideración (FAO, 1985). En el caso del riego con aguas residuales que contengan elevados niveles de sodio, se pueden aplicar enmiendas calizas o de magnesio al suelo para equilibrar la concentración de sodio respecto a estos dos cationes (Ca^{2+} y Mg^{2+}), y evitar así problemas de desestructuración del suelo.

4.4 Referencias

Amoah, P., Keraita, B., Akple, M., Drechsel, P., Abaidoo, R.C. & Konradson, F. 2011. *Low cost options for health risk reduction where crops are irrigated with polluted water in West Africa*. IWMI Research Report Series 141. Colombo.

Asano, T. & Levine, A. 1998. Wastewater reclamation, recycling, and reuse: an introduction. en: Asano T (ed) *Wastewater Reclamation and Reuse*, Vol. 10, Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 1–56.

Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. & Mara, D.D. 2000. *Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence*. WELL study, Task No: 68 Part 1.

Blumenthal, U.J. & Peasey, A. 2002. *Critical Review of Epidemiological Evidence of Health Effects of Wastewater and Excreta in Agriculture*. Background paper for WHO guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture. World Health Organization, Geneva.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1985. *Water quality for agriculture*. R.S. Ayers and D.W. Westcot. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Roma: FAO .Pp.174.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2005. *Materials for subsurface land drainage systems*. FAO irrigation and drainage Paper 60. Rev 1. Rome.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2007. *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*. FAO irrigation and drainage Paper 62. Roma: FAO.

Haas, C.N., Rose, J.B. & Gerba, C.P. 1999. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. New York: John Wiley and Sons Inc.

Hamilton AJ, Boland A-M, Stevens D, Kelly J, Radcliffe J, Ziehl A, Dillon PJ, Paulin R 2005. Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water. *Agric Water Manage* 71: 181-209.

Huibers, F.P., Moscoso, O., Duran, A. & van Lier, J.B. 2004. The use of wastewater in Cochabamba, Bolivia: A degrading environment. In: Scott CA, Faruqui NI, Raschid-Sally L, editors. *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: confronting the livelihood and environmental realities*. CABI Publishing, Wallingford, UK; p. 135–44.

Juanicó, M. & Milstein, A. 2004. Semi-intensive treatment plants for wastewater reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, 50(2): 55–60

Keraita, B., Drechsel, P., Klutse, A. & Cofie, O. 2014. *On-farm treatment options for wastewater, greywater and fecal sludge with special reference to West Africa*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE). 32p. (Resource Recovery and Reuse Series 1). doi: 10.5337/2014.203

- Lazarova V, Bahri A.** 2005. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and TurfGrass*. CRC Press.
- Libhaber M and Orozco-Jaramillo A.** 2012. *Sustainable treatment and reuse of municipal wastewater for decision makers and practicing engineers*. Lodres: IWA publishing.
- Maas, E.V. & Grattan, S.R.** 1999. Crop yields as affected by salinity. En *Agricultural Drainage*, R.W. Skaggs, J. van Schilfgaarde (Eds.) ASA-CSSA-SSSA. Madison. Pp. 55-108.
- Mara, D.D., Pearson, H.W., Oragui, J.I., Cawley, L.R., Oliveira, R.D. & Silva, S.A.S.** 1996. *Wastewater Storage and Treatment Reservoirs in Northeast Brazil*. TPHE Research Monograph No. 12. Leeds, England: University of Leeds, Department of Civil Engineering.
- Mara, D.D.** 2004. *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Londres, UK: Earthscan Publications.
- Mara, D.D. & Bos, R.** 2010. Risk analysis and epidemiology: The 2006 WHO Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture. En *Wastewater irrigation and health: Assessing and mitigating risk in low-income countries* (Eds. Drechsel, P., Scott, C.A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. y Bahri, A.). pp. 51-62. London: Earthscan (disponible en: http://www.idrc.ca/en/ev-149129-201-1-DO_TOPIC.html).
- Mayer, B.K., Gerrity D., Rottmann B.E., Reisinger D., Brandt-Williams, S.** 2013. Innovative strategies to achieve low total phosphorus concentrations in high water flows. *Crit rev environ sci technol* 43:409-441.
- Moscoso, J., Juarez H. & Alfaro, T.** 2008. *The Use of reservoirs to improve the quality of Urban Irrigation Water*. Urban Agriculture Magazine No. 20. Resource Centre on Urban Agriculture and Food Security - RUAF Foundation. The Netherlands (disponible en: <http://www.ruaf.org/sites/default/files/BDU-08063-UAM20.pdf>).
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 1989. *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. OMS. Ginebra, Suiza.
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 2006. *Guidelines of the safe use of wastewater, excreta and grey water; Vol. 2: Wastewater Use in Agriculture*. OMS. Ginebra, Suiza.
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 2010. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water in agriculture and aquaculture (3rd Edition) (Second information kit). Guidance Note for national programme managers and engineers: applying the guidelines along the sanitation ladder*, by Pay Drechsel and Bernard Keraita, IWMI (disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/FLASH_OMS_WSHH_Guidance_note1_20100729_17092010.pdf?ua=1).
- OPS** (Organización Panamericana de la Salud). 2015. *Proyecto "Difusión del Manual de Planes de Seguridad de Sanemiento (PSS) aplicado al uso de aguas residuales en las Américas"*. OPS: Lima. Perú (disponible en: <http://www.paho.org/blogs/etras/>)
- Pescod, M. B.** 2002. Wastewater treatment and use in agriculture. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D. & Ruiz-Palacios, G.** 2000. *A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective*. WELL study, Task, (68 Part 11).
- Qadir M, Drechsel P.** 2010. *Managing salts while irrigating with wastewater*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 5 (016): 1-14
- Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G.** 2000. *Cadmium concentration in vegetables grown on urban soils irrigated with untreated municipal sewage*. Environ Develop Sustainability 2: 11-19
- Rai PK.** 2012. *An eco-sustainable green approach for heavy metals management: two case studies of developing industrial region*. Environ Monit Assess 184: 421-448
- Rose, G.D.** 1999. *Community-Based Technologies for Domestic Wastewater Treatment and Reuse: options for urban agriculture*. International Development Research Centre. Cities Feeding People Series. Report 27.
- Salgot, M., Huertas, E., Weber, S. Dott, W, & Hollender, J.** 2006. Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. *Desalination*, 187: 29-40.
- Simmons RW, Qadir M, Drechsel P.** 2010. Farm-based measures for reducing human and environmental health risks from chemical constituents in wastewater. en Drechsel P, Scott CA, Raschid-Sally L, Redwood M, Bahri A (Eds), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risks in Low-income Countries*, Earthscan-International Development Research Centre (IDRC)-International Water Management Institute (IWMI).Pp 209-238.

Tang C, Chen J, Shindo S, Sakura Y, Zhang W, Shen Y. 2004. *Assessment of groundwater contamination by nitrates associated with wastewater irrigation: A case study in Shijiazhuang region, China.* Hydrol Process 18: 2303–2312

Tchobanoglous G., Burton F. L. and Stensel H. D & Metcalf and Eddy Inc. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.* (3ra ed.). New Delhi: McGraw-Hill. Pp. 1017–1102.

CAPÍTULO 5

Aspectos económicos e institucionales en la reutilización de aguas y ejemplos en América Latina y el Caribe

Javier Mateo-Sagasta, Manzoor Qadir, Pay Drechsel, Munir A. Hanjra



En América Latina y el Caribe (ALC) millones de toneladas de recursos valiosos, incluyendo agua, nutrientes y energía, se desperdician cada año en forma de aguas residuales vertidas a los ríos y mares (ver capítulo 2). Recuperar estos recursos para actividades productivas tiene sentido económico y puede incrementar la recuperación del costo de los sistemas de saneamiento, convirtiéndose así en “saneamiento productivo”. Una evaluación económica temprana de un proyecto de reutilización, que incluya su justificación económica, además de un análisis financiero y de recuperación de costos, ayudará a decidir si se sigue adelante con el proyecto y a evitar fracasos (por ejemplo, plantas de tratamiento que no funcionan) cuando el proyecto está operativo. Este capítulo revisa los aspectos económicos de la reutilización de aguas así como los desafíos institucionales y de políticas a los que se enfrenta un sector que, por su naturaleza multidisciplinar, necesita de la colaboración de múltiples actores para conseguir el uso productivo y seguro de las aguas residuales en la agricultura.

5.1 Economía de la reutilización de aguas residuales

En ALC, las aguas residuales solo están empezando a ser consideradas como un recurso hídrico valioso en áreas con escasez de agua o en países que enfrentan períodos recurrentes de sequía. La idea de recuperar nutrientes o energía de las aguas residuales o lodos fecales, de forma planificada, es menos conocida, y sólo algunos países de la región informan acerca del uso de tecnologías y prácticas especialmente diseñadas para recuperar el fósforo y el nitrógeno presentes en la excreta y orina humana. La recuperación de biogás proveniente de aguas residuales o lodos fecales tras ser sometidos a digestión anaeróbica tampoco es habitual. Los casos de mejoramiento del biogás para embotellado son prácticamente inexistentes. Esto constata que el potencial total de las aguas residuales como un activo económico está lejos de ser explotado por completo en la región.

Desafíos económicos que enfrenta la reutilización

Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales y centralizadas son costosas y también requieren de personal cualificado para su construcción, operación y mantenimiento. Muchos países en la región reportan que las plantas de tratamiento de aguas residuales fallan con frecuencia (CAF, 2015): la mayoría de estas plantas se construyen con el apoyo de donantes internacionales o con subsidios del gobierno central, pero con el tiempo éstas se abandonan, se averían o simplemente no son operadas o mantenidas adecuadamente. En Colombia, por ejemplo, una inspección llevada a cabo en el 2013 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, de los 583 sistemas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran en el diagnóstico, 83 (14%) estaban fuera de operación (Superservicios, 2013). También se realizó en Bolivia una encuesta nacional en la que se estudiaron 111 casos de reutilización de aguas residuales, tratadas o no, para riego agrícola, en 105 poblaciones con más de 2 000 habitantes. Se encontró que 29 poblaciones no tenían ningún tipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). De las 82 PTAR que sí existían, 30 no estaban en operación (es decir, el agua residual no ingresaba a la PTAR y era desviada para otros fines, o el agua residual que entra a la PTAR se infiltraba en el suelo y no existía un efluente) y de las 52 PTAR en operación, la mayor parte estaban operando con una eficiencia por debajo de lo esperado (MMAY, 2013).

Los retos en la eficacia y la sostenibilidad de las plantas de tratamiento y proyectos de reutilización se relacionan, entre otros factores, con la incapacidad y/o voluntad de las comunidades locales de pagar los costos asociados al tratamiento, junto con una estrategia de recuperación de costos de servicios de agua precaria o inexistente, siendo ésta el resultado de políticas, incentivos, y capacidades institucionales inadecuadas (CAF, 2015). Muchos proyectos de reutilización en países industrializados generalmente dependen de subsidios públicos, los cuales no son costeables en países con ingresos medios o bajos. En un taller regional realizado en Perú en el año 2012 (<http://www.ais.unwater.org/wastewater>), la economía en la reutilización del agua fue una de las principales áreas donde los participantes querían ver capacidades reforzadas en sus respectivos países. Se destacó que para llevar a cabo proyectos de reutilización factibles y replicables son necesarias tanto una justificación económica, donde los beneficios totales para la sociedad sean mayores que los costes totales, como una clara estrategia de recuperación de costos que asegure la viabilidad financiera en el largo plazo.

Evaluación económica de los proyectos de reutilización del agua

En la mayor parte de países de América Latina y el Caribe es poco frecuente realizar evaluaciones económicas exhaustivas antes de comenzar con un proyecto de tratamiento y reutilización de aguas residuales. La factibilidad financiera ha sido el foco de análisis en la mayoría de la literatura existente

sobre proyectos de reutilización (GWI, 2009). Sin embargo, la toma de decisiones desde una perspectiva política también requiere de análisis económico. Mientras que la factibilidad financiera consideraría sólo los costos privados y los flujos de caja de un proyecto de reutilización, el análisis económico considera también los costos y beneficios públicos desde la perspectiva de la sociedad como un todo (Figura 5.1). Para la factibilidad financiera, el ingreso debe al menos igualar los costos. En los proyectos de reutilización de aguas a menudo éste no es el caso y puede tener como consecuencia que se rechacen proyectos de reutilización y se pierdan oportunidades económicas.

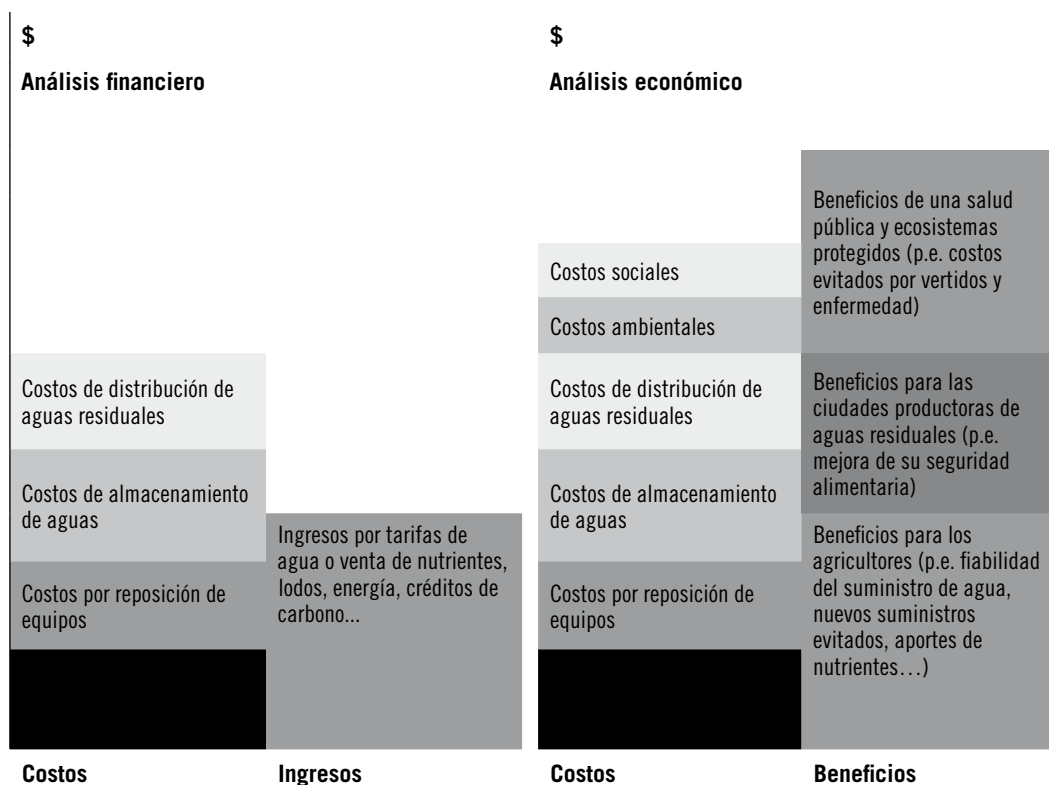


Figura 5.1. Análisis financiero versus análisis económico en proyectos de reutilización de aguas. (Fuente: adaptado de Hanjra et al., 2015)

A continuación se plantean los pasos clave en una evaluación económica para un proyecto de reutilización basados en FAO (2010) y Heinz *et al.* (2011). Otras directrices y lineamientos sobre el análisis económico de proyectos de reutilización se pueden encontrar en AQUAREC (2006), GWI (2009), Smith (2011), de Souza *et al.*, (2011) y Hussain *et al.* (2001).

Justificación Económica

Límites del análisis y partes involucradas: la evaluación y justificación económica de un proyecto de reutilización debe realizarse desde la perspectiva de la cuenca hidrográfica, comparando los costos y beneficios económicos del proyecto a esta escala y considerando todos los grupos de interés involucrados: ciudades y sus ciudadanos (como generadores de aguas residuales municipales), agricultores (como los usuarios de estas aguas) y el medioambiente (que puede ser impactado positiva o negativamente por el proyecto). El medioambiente puede ser representado por el gobierno o por un tercero que actúe en nombre del público a través de la administración ambiental o hídrica.

Análisis de costo-beneficio: Una vez que se han identificado los límites y las partes involucradas, la cuestión clave es si el total de beneficios de un proyecto de reutilización es mayor que el costo total. La reutilización del agua puede tener beneficios sustanciales para el medioambiente, los agricultores y las ciudades (ver capítulo 3). Pero también posee costos relacionados con la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura (por ejemplo, tuberías y canales para llevar las aguas residuales tratadas o las bombas para transportarla) o la adopción de cualquier estrategia de mitigación de riesgos

para la salud o medio ambiente (ver capítulo 4). Estos costos y beneficios deben ser sistemáticamente cuantificados antes de decidir si invertir o no en un proyecto de reutilización. Algunos de los beneficios no son observables inmediatamente y son complicados de cuantificar en términos monetarios, tales como los servicios ambientales. Lo mismo ocurre con algunos costos, particularmente asociados con las externalidades negativas de los proyectos de reutilización. Los costos y beneficios que no pueden ser monetizados (en parte debido a que no existe mercado o permanece sin desarrollarse) debiesen ser evaluados utilizando enfoques que no se basen en el mercado (por ejemplo, los métodos de preferencias reveladas o expresadas) (Hernandez-Sancho *et al.*, 2015). Algunos de los impactos que no pueden ser evaluados en unidades monetarias, deben ser reportados en unidades no monetarias (por ejemplo empleo generado).

Análisis de costo-eficacia: Otra cuestión crucial que se debe considerar es si existen otras alternativas viables para lograr el objetivo que queremos con el proyecto de reutilización y si la reutilización es la alternativa más barata para conseguir un objetivo dado. Por ejemplo, si el objetivo es hacer frente a la escasez de agua aumentando los recursos de agua disponibles, las potenciales alternativas podrían ser: captación y almacenamiento de agua de lluvia, transferencias de agua desde otras cuencas, o desalinización del agua de mar, si el área objetivo se encuentra cercana a la costa. A menudo la fiabilidad de la captación de agua de lluvia depende del clima local que hace que la eficacia de estos sistemas sea difícil de prever, mientras que las aguas residuales son un recurso menos dependiente de los patrones de lluvia. Las transferencias entre cuencas suele requerir inversiones iniciales muy altas y tener costos de operación y mantenimiento considerables, incluyendo costes de bombeo, además enfrenta desafíos medioambientales y políticos importantes, sobre todo en las cuencas donantes, por lo que cada vez son menos populares. La desalinización de agua de mar puede competir con la reutilización de aguas en zonas costeras si la calidad de agua requerida es potable o pre-potable aunque los costes de desalinización suelen ser más altos, especialmente los energéticos (Haruvy *et al.*, 2008), y la gestión de las salmueras resultantes es un reto ambiental de primer orden. Por otro lado, los proyectos de reutilización están ganando dinamismo ya que proporcionan soluciones locales que son más flexibles y robustas y que pueden ser ajustadas a las condiciones locales. El costo de las opciones alternativas debe ser cuidadosamente examinado antes de continuar con un proyecto de reutilización. Si existen alternativas igualmente eficaces para hacer frente a la escasez de agua, pero la reutilización de aguas residuales es la solución menos costosa entonces la elección del proyecto de reutilización quedaría justificada.

Factibilidad financiera y análisis de recuperación de costos

Una vez establecida la justificación económica básica del proyecto, el siguiente paso es examinar su factibilidad financiera, considerando los flujos de caja y los gastos financieros. Mientras que el análisis de beneficios sociales y ambientales ayudará a decidir si se debe llevar a cabo o no un proyecto de reutilización, el análisis financiero determinará si el proyecto se puede financiar y cómo. La distribución equitativa de los costos del proyecto, entre los diferentes grupos de interés, es crucial para su factibilidad. Cuando los beneficios de la reutilización son compartidos por las diferentes partes involucradas, no tan sólo por los agricultores, los costos también se deben compartir.

En la mayoría de los proyectos de tratamiento y reutilización de aguas no se recuperan todos los costes de inversión, operación y mantenimiento y necesitan de subsidios para su financiación. (Drechsel *et al.*, 2015, Rao *et al.*, 2015). Los diferentes servicios involucrados en un proyecto de reutilización agrícola, tales como la recolección y transporte de aguas residuales, el tratamiento, transporte y distribución de agua regenerada y su uso en agricultura, suelen ser provistos por diferentes agentes, como por ejemplo los municipios -a través de empresas públicas, mixtas o privadas de abastecimiento y saneamiento- o las comunidades de regantes, y cada uno de ellos recupera (parte de) sus costos de explotación, operación y mantenimiento de diferentes maneras (tarifas de agua urbana, cánones de vertido, derramas a los regantes, entre otros) y el resto se subsidia. Típicamente la inversión inicial se financia, por lo menos en parte, con fondos estatales y de donantes internacionales y se aspira a recuperar los costes de operación y mantenimiento. En ALC, como en el resto del mundo, la recuperación de los costos de estos servicios por parte de los agentes que los suministran es muy variable y depende del tipo de proyecto, aunque en general es baja (ADERESA, 2005; Foster y Yepes, 2006; OCDE, 2011; Urquidi, 2015). Una estrategia de recuperación de costos también puede apuntar a recuperar costos de apoyo (por ejemplo, campañas de concientización, programas de formación, sistemas de información, monitoreo y evaluación, regulación, planificación y desarrollo de estrategias) y otros costos económicos (por ejemplo, valor perdido del agua para otros usos, costos medioambientales, costos sanitarios).

Por tanto para analizar la viabilidad financiera de un proyecto de reutilización se debe evaluar la contribución de los diversos actores – gobierno nacional y estatal, agricultores, proveedores de servicios municipales (públicos o privados) y/o otros actores importantes –Se deben identificar los beneficiarios y pagadores financieros para evaluar los incentivos, o por el contrario, las sanciones que serán aplicadas y el tipo de financiamiento que sería apropiado. Si el análisis económico demuestra beneficios ambientales y sociales netos, la puerta a los subsidios quedaría abierta.

Estrategias para alcanzar una alta recuperación de costos

Existen diferentes estrategias para aumentar la recuperación de costos, y por lo tanto, mejorar sustentabilidad económica de los proyectos de reutilización. Estas estrategias se pueden clasificar de la siguiente manera:

Estrategias de inversión

Las estrategias de inversión incluyen la elección de la tecnología y de la ubicación del proyecto, y tiene por objetivo minimizar la inversión y los costos recurrentes futuros e incrementar el acceso de los usuarios finales al agua regenerada. Para mantener los costos al mínimo es importante planificar de forma temprana la reutilización, y ubicar la planta de recuperación de recursos (en vez de la planta de tratamiento de aguas residuales) cerca del usuario final (por ejemplo, agricultores) para reducir costos innecesarios de tratamiento y transporte. Se debe prestar particular atención a la energía. El consumo energético en el tratamiento de aguas residuales y en el transporte representa hasta el 50% de los costos totales de operación (Lazarova *et al.*, 2012) y se deben mantener bajos. Si es posible, se recomienda el movimiento de caudales por gravedad en vez por bombeo. Los tratamientos de aguas residuales deben de ser coste-eficaces. El Cuadro 5.1 muestra la eficacia y los costes de algunos sistemas de tratamiento potencialmente apropiados. El tratamiento aerobio de aguas residuales necesita aireación y generalmente tiene altas demandas energéticas, por lo tanto, esta opción debe ser examinada con precaución. También se puede recuperar energía de las aguas residuales o de los lodos de depuración en forma de biogás para su reutilización posterior, reduciendo la necesidad de utilizar energía adicional. Por consiguiente, desde una perspectiva energética, y siempre y cuando haya tierras disponibles a un precio razonable, se prefieren los sistemas de lagunas o de tratamientos anaerobios. (Libhaber y Orozco-Jaramillio, 2012). La separación de aguas residuales en origen también podría ahorrar dinero en el proceso de tratamiento posterior, por ejemplo, si se debe recuperar nitrógeno como fertilizante, podría ser más rentable optar por un retrete con desvío de orina (y tratar esta orina de manera independiente) que apuntar a recuperar este nitrógeno de un sistema de saneamiento y tratamiento de aguas residuales convencional. Por último, invertir en barreras múltiples para reducir los riesgos a la salud ha demostrado ser más rentable que depender sólo del tratamiento convencional (Drechsel y Seidu, 2011).

Cuadro 5.1. Comparación del coste y eficacia de distintos sistemas de tratamiento de aguas.

	Capacidad de eliminación de DBO	Coste de inversión		Coste de O&M	
	% DBO del influente	US\$/capita	% del coste de lodos activos	US\$/yr/ capita	% del coste de lodos activos
Tamiz rotativo	0-30	3--10	4--10	0.1-0.15	1.9-2.5
Reactores RAFA (UASB)	60-75	20-40	25-40	1.0-1.5	19-25
Tratamiento primario químicamente mejorado (CEPT)	70-75	20-40	20-40	1.5-2.0	25-38
Lagunajes ayudados con mezcladores	70-95	20-40	25-40	0.2-0.4	5
Filtros anaerobios	70-80	10--25	10--25	0.5-1.0	13-20
Lagunajes convencionales	70-90	20-40	25-40	0.2-0.4	5--8
Lagunas anaerobias cubiertas y lagunas facultativas con mezcladores	80-95	20-50	25-50	0.2-0.4	5
Balsas de estabilización	75-95	30-50	30-50	0.2-0.4	5
Humedal artificial	80-90	20-30	20-30	1.0-1.5	19-25
Combinación RAFA-filtro anaeróbico	80-90	20-40	20-40	1-1.5	19-25
Combinación RAFA-lagunaje	80-90	30-50	30-50	1-1.5	19-25
Combinación CEPT-filtro de arena	80-90	40-50	40-50	1.5-2	25-38
Combinación RAFA-filtro de arena	80-90	30-50	30-50	1-1.5	19-25
Caso de referencia – sistemas de tratamiento convencional con lodos activos usado para comparar con tratamientos de bajo coste					
Conventional activated sludge	80-90	100-150	100	4--8	100

Fuente: Libhaber y Orozco-Jaramillio (2012)

Cargos por los servicios de aguas residuales

El “principio de quien contamina paga” señala que quien sea responsable por dañar el medioambiente debe asumir los costos asociados. Según este principio, se debe cobrar por los vertidos de aguas residuales debido a los costos medioambientales y sociales que tiene su eliminación o, de forma similar, se debe cobrar para cubrir los costos de devolver el agua al medio ambiente con una calidad tal que no produzca daño social o medioambiental, esto es, debidamente tratadas de acuerdo a normas de vertido. Los instrumentos más frecuentes para llevar este principio a la práctica son tarifas por servicios de aguas residuales, cánones de vertido e impuestos locales indirectos. Estos instrumentos han sido implementados con éxito en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) como una herramienta efectiva para recuperar el costo por los servicios de aguas residuales. Pocas personas podrían estar en desacuerdo con la propuesta de que aquellos que ocasionen daño a otros deben “pagar” por esos daños. Apela directamente a nuestro sentido de justicia. Sin embargo, este principio debe ser aplicado progresivamente en países o comunidades con bajos ingresos, considerando siempre la capacidad y disposición al pago de ciudadanos pobres. Los cargos por servicios de aguas residuales pueden contribuir a recuperar el capital y los costos de operación y mantenimiento de la recolección y tratamiento de las aguas residuales. Por ejemplo, la estrategia de recuperación de costos ha sido aplicada por años en Chile, cobrando a todos los usuarios que se benefician con el servicio de saneamiento. El gobierno subsidia a los usuarios que tienen menor capacidad de pago, a partir de un sistema de protección social para familias en situación de extrema pobreza denominado “Chile Solidario”. Además, el sistema tarifario se recalcula cada 5 años, de acuerdo con la ley (SISS, 2014). Este mecanismo financiero ha contribuido parcialmente al hecho de que un 100% de las aguas residuales generadas en la ciudad, es hoy en día tratada antes de ser descargada (Plataforma Urbana, 2012). En Mendoza (Argentina) la principal planta de tratamiento de aguas residuales en la región fue mejorada para cumplir con los estándares de calidad del agua para su reutilización. La mejora fue financiada por el sector privado, el cual se comprometió a una inversión inicial de \$ 15 millones de dólares americanos, mientras que la Empresa de Agua y Saneamiento se comprometió a pagar \$ 0,05 dólares por m³. Al comienzo, los agricultores estaban utilizando aguas residuales tratadas para riego sin costo, pero esto puede cambiar en el futuro. La inversión inicial proveniente del sector privado tiene un período esperado de rédito de sólo 7 años (Bartone, 2012).

Estrategias de ingresos

Pasar de un saneamiento convencional (tratamiento para eliminación) a un saneamiento productivo (tratamiento para reutilización), crea oportunidades para aumentar la generación de ingresos. Estos ingresos pueden provenir de la asignación de precios de las aguas residuales tratadas, de la venta de biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales como acondicionador y fertilizante de suelo, de la venta de biogás proveniente de la digestión de lodos, la producción acuícola y de biomasa (como la lenteja de agua), así como otros mecanismos de recuperación de recursos y opciones de reutilización. Estos ingresos pueden cubrir el costo adicional de la reutilización (por ejemplo, tratamientos más rigurosos o canales para transportar el agua tratada), pero pueden ser lo suficientemente altos para generar ganancias, las cuales se pueden utilizar para cubrir parte del costo de la cadena de saneamiento. En Perú, por ejemplo, el proyecto Agricuatics y su sistema Terraqua en el Parque Ecológico Santa Catalina, Barranca, es un piloto prometedor donde se tratan aguas residuales municipales y se produciría lenteja de agua para alimentación acuícola, se recuperaría biogás para energía con un digestor anaerobio, y se generaría agua tratada para el riego. Se estima que el coste de operación y mantenimiento se podría recuperar con el valor de los recursos generados (agua, energía y producción acuícola) e incluso los costes de construcción del sistema podría ser amortizado completamente entre 5-10 años (Agricuatics, 2012). Como se muestra en el capítulo 3, además de ingresos financieros, la reutilización de agua proporciona beneficios medioambientales y para la sociedad como un todo, lo que puede justificar la entrega de subsidios como ingreso adicional.

Recuadro 5.1. El sostenimiento del tratamiento de aguas residuales para una reutilización segura en Santiago de Chile.

La ciudad de Santiago, al igual que el resto de las provincias de la Región Metropolitana de Chile¹, posee una importante actividad agrícola (esto es, superficie agrícola de 370 000 ha en la Región Metropolitana), y un bajo promedio de precipitaciones (312 mm/año). Por otro lado, el tratamiento deficiente de aguas residuales en esta región solía ocasionar la descarga de aguas residuales brutas en los cuerpos de agua alrededor del área urbana, tales como el Río Mapocho. Como consecuencia, el uso de agua extraída de ríos o canales contaminados para riego agrícola aumentó la cantidad de enfermedades a través del consumo de hortalizas y frutas (por ejemplo, fiebre tifoidea, hepatitis infecciosa), especialmente antes de la época de los 80.

Luego del grave brote de cólera en América Latina en el año 1991, se prohibió el uso directo de aguas residuales brutas en la agricultura, y hoy en día solamente se permite el uso de aguas residuales tratadas para ciertos tipos de cultivos. Se estima que en 2001 aun 130 000 ha de árboles frutales, viñedos, cereales y hortalizas se regaban con aguas contaminadas o con aguas residuales sin tratar. Para poder tratar la totalidad de aguas residuales generadas en el área, así como también, para fomentar el uso de aguas residuales recuperadas, las autoridades locales comenzaron el proyecto a largo plazo “Programa de Tratamiento de Aguas Servidas del Gran Santiago” que consistió en la construcción de tres plantas de tratamiento. Desde 2001 al 2012, comenzaron a operar los tres sistemas de tratamiento (El Trebal-2001, La Farfana-2003 y Mapocho-2012) con una capacidad total de 1 537 920 m³ de aguas residuales tratadas diariamente, combinando todas éstas (Figura 5.2). El gobierno de Chile, junto con la Compañía Metropolitana de Aguas de Santiago (Aguas Andinas), decidió utilizar el sistema BOOT (construir-operar-propiedad-transferencia), involucrando al sector privado en sector de aguas y saneamiento. Las principales razones para adoptar este tipo de contrato fueron acelerar el proceso de licitación y construcción, garantizar el conocimiento especializado en la operación de la planta de tratamiento, y financiar la gran inversión de capital necesaria para la construcción de dichas plantas. Además, el sistema de tarifa para el tratamiento de aguas residuales se aplicó a todos los usuarios que se benefician del sistema de saneamiento, a modo de poder recuperar los costos del tratamiento. La tarifa de tratamiento de aguas residuales experimentó un alza de 9.2% luego de la inversión privada. El gobierno subsidia las tarifas de aquellos que poseen una menor capacidad de pago. Adicionalmente, el sistema tarifario se recalcula cada 5 años, de acuerdo con la ley.

Por consiguiente, no sólo aumentó el volumen de efluentes tratados disponibles para riego, sino que también se redujo significativamente el nivel de contaminación en los cuerpos de agua luego del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales adicionales. Por ende, la implementación de un uso más racional y planificado de aguas residuales tratadas fue posible en la región de Santiago de Chile, donde este tipo de agua se considera un recurso valioso para la agricultura de regadío.

Fuente: Elaboración propia en base a Mena-Patri (2001); Jiménez (2008); Donoso & Hantke (2007); Idelovitch & Ringskog (1997); Larraín-Aspillaga (2008); Plataforma Urbana (2012).



Figura 5.2. Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Mapocho, finalizada el año 2012. (Fuente: Conpax, 2012)

5.2 Desafíos institucionales y políticos

La gestión adecuada de aguas residuales como un recurso agrícola necesita involucrar un gran número de agentes y grupos de interés, los cuales deben cooperar y coordinarse para obtener resultados satisfactorios. Ministerios, instituciones de investigación y universidades, grupos de agricultores y consumidores son sólo algunos ejemplos de actores que necesitan trabajar en conjunto para facilitar el uso productivo y seguro de las aguas residuales en la agricultura. Este trabajo participativo y multidisciplinario debe resultar en políticas, legislaciones y marcos institucionales apropiados (Mateo-Sagasta *et al.*, 2013). Todos estos requisitos, junto con unos recursos presupuestarios limitados, plantean serios desafíos para que se formulen e implementen políticas efectivas de reutilización.

Asignación presupuestaria

Los presupuestos anuales en la mayoría de los países de la región son insuficientes para poder recolectar, tratar, utilizar, y/o eliminar las aguas residuales de manera adecuada para el medio ambiente y la salud. En un contexto de disponibilidad limitada de recursos financieros, y con prioridades que compiten, los responsables de políticas perciben muchas veces que los costes de gestión del agua residual son demasiado altos, mientras que los beneficios económicos, sociales o políticos son insuficientes en el corto plazo. Sin embargo, cada vez más estudios apuntan a que los beneficios sociales y ambientales de la gestión de aguas residuales son mucho mayores que sus costes (WSP, 2013; Hernandez-Sancho *et al.*, 2015). Este tipo de estudios se deben difundir eficazmente. Los instrumentos financieros que las autoridades públicas pueden usar para fomentar el uso seguro de las aguas residuales en la agricultura deben ser explorados y ajustados para cada situación. Reducir y compartir los costos del tratamiento de aguas residuales para proyectos de reutilización parece ser una práctica adecuada para reducir la presión sobre las arcas públicas, tal como se describió en la sección anterior. Por otra parte, a pesar de que existen regulaciones que prohíben el uso agrícola de aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente, su implementación sigue siendo un reto. Por diversas razones (ver Murray & Drechsel, 2011) muchas plantas de tratamiento de aguas residuales están deficientemente mantenidas y funcionan mucho más allá de su capacidad de diseño. A la larga, esto cuestiona la fiabilidad del tratamiento de aguas residuales y mina la confianza en la reutilización del agua “tratada”, lo cual no favorece nuevas inversiones.

Guías internacionales

Como se describe en el capítulo 4 se han propuesto distintos tipos de guías internacionales para mitigar los riesgos del uso de aguas residuales. Tradicionalmente, los enfoques utilizados han tenido un fuerte

énfasis en la calidad del agua para reutilización y en estrictas regulaciones en el lugar de uso, haciendo que el tratamiento de las aguas residuales fuera esencial para la reutilización del agua (OMS, 1989). Las guías más recientes de OMS-FAO-ONU-Medio Ambiente (OMS, 2006) para el uso seguro de las aguas residuales reconocen y admiten que la reducción de los riesgos para la salud es necesaria y posible, aún en escenarios donde las aguas residuales no son tratadas o se tratan de forma inadecuada. Para lograr esto, las guías proponen también opciones de mitigación de riesgos en la explotación agrícola y post cosecha, en lugares donde no existen alternativas para evitar el uso de agua de regadío contaminada.

El uso de aguas residuales tratadas no está específicamente regulado en un buen número de países de la región, por ejemplo en Bolivia, Ecuador, Haití o Panamá (WSP, 2007). Los países con regulaciones específicas sobre reutilización se basan principalmente en la versión antigua de las Guías de la OMS (OMS, 1989). A pesar de que existe aparentemente un limitado entendimiento de las Guías de la OMS recientes, los países consideran que las realizadas el año 1989 por este organismo son más fácilmente aplicables y enfocan mejor la protección medioambiental, mientras que las Guías de la OMS del 2006 se basan principalmente en objetivos de salud. No obstante, esta percepción puede ser inducida por la falta de entendimiento de algunas características específicas incluidas en estas guías. La coordinación intersectorial y las responsabilidades definidas también se identifican como temas clave para poder lograr una implementación más extensa de las Guías de la de OMS-FAO-PNUMA de 2006.

Roles y responsabilidades

Diferentes instituciones, públicas o privadas, nacionales, regionales o locales, juegan (o deben jugar) un rol en el tratamiento y reutilización de aguas residuales para agricultura. Estos roles y responsabilidades incluyen el desarrollo de estrategias y planes, formulación de leyes y regulaciones, financiación de proyectos, implementación de proyectos, operación y mantenimiento de proyectos, la vigilancia de la normativa y monitoreo de su desempeño. Dentro de un mismo nivel, por ejemplo, a nivel nacional, existen diferentes departamentos ministeriales con potenciales competencias en la reutilización segura y productiva (por ejemplo departamentos de protección de la salud, gestión del agua, agricultura o protección del medio ambiente), cada uno de ellos con intereses diferentes y a veces opuestos.

De acuerdo con lo reportado por los países de América Latina y el Caribe, que participaron en el taller regional llevado a cabo en Perú en el 2012 (ver Anexo I), la colaboración interministerial e interinstitucional para el manejo de aguas residuales, en la mayoría de los países, es inadecuada o insuficiente. Existe falta de coordinación entre las agencias a nivel nacional y las instituciones a nivel local para el manejo de aguas residuales. Frecuentemente, el reparto de roles y responsabilidades entre los ministerios pertinentes y las instituciones locales no están lo suficientemente claras o hay superposición de responsabilidades o lagunas entre algunas instituciones. Como consecuencia, existen obstáculos para el diseño de políticas de reutilización integrales y sostenibles así como barreras burocráticas para la adopción real de las políticas diseñadas. Como resultado, la reutilización planificada de aguas residuales está muy lejos de su potencial en la región.

Aguas residuales y educación

El tema del manejo de las aguas residuales apenas tiene presencia en los currículos escolares de la región, lo cual debe cambiar dada la importancia que tiene la contaminación de las aguas para la salud y el medio ambiente. Sin embargo, a nivel universitario, en los últimos años, el manejo de aguas residuales ha recibido más atención. Por ejemplo, la Universidad Nacional Autónoma de México ha estado investigando por más de 20 años sobre los efectos de la reutilización de aguas residuales municipales no tratadas para la agricultura en el Valle del Mezquital (Díaz-Sámamo, 2011; Cayetano-Salazar, 2012). En Bolivia, el año 2006 se efectuó un acuerdo entre la Universidad de San Simón y la Universidad de Barcelona con el objetivo de crear humedales para tratar las aguas residuales municipales en Cochabamba. Cuatro universidades diferentes en Colombia (Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad del Valle, Universidad de Pamplona y Universidad Nacional) junto con sus institutos de investigación respectivos están trabajando actualmente en temas de reutilización tales como, tecnologías de tratamiento, reutilización en el sector de la floricultura y eliminación de patógenos después del tratamiento en lagunas artificiales (Lopera *et al.*, 2012; García *et al.*, 2013).

Recuadro 5.2. Familiarizando a los niños con la reutilización de aguas urbanas en Lima, Perú.

El Colegio de la Inmaculada está ubicado al sur de Lima, en una zona árida de Perú. En 1995, en busca de una fuente alternativa de agua, desarrollaron, el Proyecto Ecológico que incluye tratamiento de aguas residuales para su reutilización en sembrío de árboles frutales, como parte de un proyecto de reforestación y la venta de productos del huerto del colegio.

El tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo colectando aguas del desagüe de Santiago de Surco. Las aguas residuales son desviadas, pasadas por un pretratamiento de filtrado y tratadas en unas lagunas de oxidación que se encuentran en un cerro que colinda con el colegio.

Las aguas tratadas se emplean en el riego de jardines, árboles del proyecto de reforestación y campos deportivos del colegio. Las especies de árboles que se plantan en el colegio permiten cosechar una serie de frutos como naranjas, higos, aceitunas, entre otros. Estos frutos y productos hechos a partir de ellos como aceite de oliva, mermelada, etc. son vendidos en el colegio. Este proyecto ecológico además de ser interesante para el colegio económicamente, pues el gasto del colegio disminuye al emplear aguas residuales tratadas en vez de consumir recursos de agua potable de la red, permite que los niños se familiarizan con el tratamiento de aguas residuales y su reutilización en la agricultura, lo que se traduce en una mayor aceptabilidad de esta práctica en el futuro.

Fuente: Bernex Weiss et al., (2015).

Consideraciones generales

ALC necesita políticas ambiciosas y realistas para acelerar la recolección, tratamiento y/o uso de aguas residuales. Estas políticas pueden incluir, entre otras opciones, la formulación e implementación de i) planes de inversión para el reciclaje y la reutilización del agua, ii) campañas de concienciación sobre los beneficios del tratamiento y reutilización de aguas residuales, iii) mecanismos de colaboración institucional a diferentes niveles, e iv) incentivos a la participación del sector privado. Con un marco de políticas flexibles que aborde los rápidos cambios demográficos, que asegure la protección a la salud y el medio ambiente y que resulte de la colaboración entre las instituciones pertinentes, el reciclaje y la reutilización del agua tienen un gran potencial en el marco más amplio de la gestión integrada de recursos hídricos. Las municipalidades deben encontrar formas innovadoras de asociarse con la comunidad y con otros actores clave para mejorar los estándares de servicio y crear nuevas estrategias de generación de ingresos. En este marco los intercambios de agua dulce por aguas residuales tratadas entre la agricultura y la ciudad (como expuesto en capítulo 3) son especialmente prometedores. Estos intercambios requieren sin embargo de una clara asignación de derechos de uso del agua para que después éstos se puedan intercambiar y un marco legal que lo permita.

Recuadro 5.3. Innovaciones para fomentar el enfoque descentralizado de reutilización de aguas residuales – ejemplos de estudios de caso de EE.UU.

A lo largo de Estados Unidos, los grupos de interés, incluyendo líderes de la comunidad, investigadores, empresas privadas, grupos medioambientales, y agencias estatales reguladoras y de salud, están creando formas innovadoras para fomentar el enfoque descentralizado de tratamiento y reutilización de las aguas residuales. Estos estudios de caso innovadores podrían servir como pieza angular para la gestión de riesgos en el futuro:

- Crear coaliciones amplias: Ejemplo - en Michigan, una organización sin fines de lucro crea coaliciones amplias para abordar temas relativos a los sistemas descentralizados de aguas residuales, calidad del agua y salud pública.
- Conectar la planificación del uso de la tierra y la planificación del manejo de aguas residuales: Ejemplo - en Rhode Island, planificadores, reguladores e investigadores trabajan en conjunto para conectar la planificación del uso de la tierra y la planificación del manejo de aguas residuales.
- Considerar de descentralización en forma razonable: Ejemplo - en Minnesota, los financistas exigen un proceso de análisis alternativo para garantizar que los ingenieros y planificadores consideren razonablemente las soluciones de descentralización.
- Administrar un proceso adecuado para aprobar un nuevo tratamiento de aguas residuales en terreno: Ejemplo - en Massachusetts, los reguladores administran un proceso claro y adecuado para aprobar nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales en terreno.
- Regulaciones de reutilización basadas en el riesgo: Ejemplo – en Carolina del Norte, ingenieros y desarrolladores trabajan según regulaciones de reutilización basadas en el riesgo para integrar las aguas residuales distribuidas con el agua de lluvia y otros sistemas de tratamiento y reutilización de agua.
- Brindar una gestión de servicio completo: Ejemplo - en Tennessee, servicios públicos de propiedad de privados, pero regulados públicamente entregan una gestión de servicio completo para soluciones de tratamiento de las aguas residuales distribuidas a nivel de desarrollo.

Fuente: *Elaboración propia en base a CAWT (2009)*

5.3 Referencias

ADERASA (Asociación de entes reguladores de agua potable y saneamiento de las Américas). 2005. *Las tarifas del agua potable y alcantarillado en América Latina*. Gobierno del Distrito Federal. Mexico. (Disponible en: http://centro.paot.org.mx/documentos/aderasa/Las_tarifas_del_agua.pdf)

Agricuatics. 2012. *Terraqua, Barranca business case description*. (Disponible en: <http://es.slideshare.net/PaulSkillicorn/terraqua-barranca-business-plan-in-graphs2>). Accedido el 14/10/2016.

AQUAREC. 2006. Handbook on feasibility studies for water reuse systems, Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater, EESD Programme, European Commission.

Bartone, C.R. 2012. Special Restricted Crop Area in Mendoza, Argentina. Guidelines for Water Reuse. en *2012 Guidelines for Water Reuse*. (EPA Publication No. 600/R-12/618). U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. (Disponible en: <http://www.reclaimedwater.net/data/files/214.pdf>).

Bernex Weiss, N., Carlotto Caillaux, V., Cabezas Sánchez C., Shady Solís, R., Roca Alcázar, F. Durand M., Ismodes Cascón, E y Kuroiwa Zevallos J. 2015. El Agua Urbana en el Perú. *Desafíos del agua urbana en las Américas*. (pp. 492-521). Mexico

Cayetano-Salazar, M. 2012. *Transferencia suelo-planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el Valle del Mezquital*. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. Mexico (Disponible en: www.geologia.unam.mx).

CAWT (Coalition for Alternative Wastewater Treatment). 2009. *Case studies: building blocks for decentralized wastewater*. en Update of the Advanced On-Site Wastewater Treatment and Management Market Study. WERF. E.U.A. (Disponible en: <http://ndwrcdp.werf.org/documents/05-DEC-3SG/05-DEC-3SGb%20Case%20Studies.pdf>)

- Conpax.** 2012. Construcción Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Mapocho. Chile. (Disponible en: http://www.conpax.cl/construccion_1.html). Accedido el 20/10/2016.
- CAF** (Corporación Andina de Fomento). 2015. *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: De la abundancia a la inseguridad*. Corporación Andina de Fomento. Argentina.
- De Souza S., Medellín-Azuara J, Burley N, Lund JR & Howitt RE.** 2011. *Guidelines for Preparing Economic Analysis for Water Recycling Projects, Prepared for the State Water Resources Control Board By the Economic Analysis Task Force for Water Recycling in California*. University of California, Davis, Centre for Watershed Sciences. E.U.A.
- Díaz-Sámamo, C.** 2011. *Cuantificación de la lixiviación de nitratos en una parcela regada con agua residual del Valle del Mezquital*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Donoso, F. & Hantke, M.** 2007. *Desarrollo de la política chilena sobre agua potable y saneamiento*. Serie Estudios Socio/Económicos No. 39. CEPLAN (Corporación de Estudios para Latinoamérica). (Disponible en: http://www.politicaspUBLICAS.udp.cl/media/publicaciones/archivos/155/Capitulo_1.pdf).
- Drechsel, P. & Seidu, R.** 2011. Cost-effectiveness of options for reducing health risks in areas where crops are irrigated with treated or untreated wastewater. *Water International*, 36(4), 535-548.
- Drechsel, P., Danso G. & Qadir M.** 2015. Wastewater use in agriculture: challenges in assessing costs and benefits, in Drechsel, P. et al. (eds) 2015. *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. *The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture*. Water report 35. FAO. Roma.
- Foster, V. & T. Yepes.** 2005. *Is cost recovery a feasible objective for water and electricity?*. Banco Mundial. Wahington, D.C.
- García, J.A., Paredes, D. & Cubillos, J.A.** 2013. Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*, 58, 57-62.
- GWl** (Global Water Intelligence). 2009. *Municipal water reuse markets 2010*. Global Water Intelligence. Oxford. Reino Unido.
- Hanjra, M. A., Drechsel, P., Mateo-Sagasta, J., Otoo, M., & Hernandez-Sancho, F.** 2015. Assessing the finance and economics of resource recovery and reuse solutions across scales (Chapter 7) en P. Drechsel, M. Qadir, & D. Wichelns (Eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, on behalf of IWMI/ CGIAR/ UNU-INWEH
- Haruy N., Shalhevet S. & Bachmat Y.** 2008. A model for integrated water resources management in water-scarce regions: irrigation with wastewater combined with desalination processes. *Int J Water* 4(1/2):25-40
- Heinz, I., Salgot, M. & Mateo-Sagasta, J.** 2011. Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers, *Water International*, 36:4, 455-466
- Hernández-Sancho F, Lamizana-Diallo B, Mateo-Sagasta J and Qadir M.** 2015. *Economic Valuation of Wastewater - The cost of action and the cost of no action*. Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (UNEP).
- Hussain, I., Raschid, L., Hanjra, M.A., Marikar, F. & van der Hoek, W.** 2001. A framework for analyzing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries: *IWMI Working Paper 26*. International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka.
- Idelovitch, E. & Ringskog, K.** 1997. *Wastewater treatment in Latin America: old and new options*. World Bank Publications.
- Jiménez, B.** 2008. Water reuse in Latin America and the Caribbean. In: Jiménez, B., Asano, T., (Editors) *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*. IWA, London, pp 177-195.
- Larrain-Aspillaga, F.** 2008. *Eficiencia y Buenas Prácticas en Santiago de Chile. Expectativas de la Sociedad y Nivel de Servicio. Agua y servicios de abastecimiento y saneamiento urbano*. Expo Zaragoza 2008. (Disponible en: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/9S3-P3-Felipe%20LarrainACC.pdf>).
- Lazarova, V., Choo, K.H. & Cornel, P. (eds).** 2012. *Water-energy interaction in water reuse*. IWA publishing. Londres, Nueva York.
- Libhaber M. and Orozco-Jaramillio A.** 2012. Sustainable treatment and reuse of municipal wastewater for decision makers and practicing engineers. *IWA publishing*. Londres.
- Lopera, M.J., Campos, S.M. & Olarte, B.C.** 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Colombia. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura* (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). (Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/COLOMBIA.pdf).

- Mateo-Sagasta, J., Medlicott, K., Qadir, M., Raschid-Sally, L., Drechsel, P. & Liebe, L.** 2013. *Proceedings on the UN-Water project on the Safe Use of Wastewater in Agriculture*. UNW-DPC. Alemania.
- Mena-Patri, M.** 2001. *Case Study: Santiago, Chile. Regional Project on Treatment and Integral Use of Wastewater in Latin America: Actual situation and potential*. Agreement: IDRC OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002.
- MMAyA** (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2013. *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. Bolivia*. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO). MMAyA. Bolivia
- Murray A. and Drechsel P.** 2011. Why do some wastewater treatment facilities work when the majority fail? Case study from the sanitation sector in Ghana. *Waterlines* 30(2):135-149
- OMS** (Organismo Mundial de la Salud). 1989. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture*. Mara, D., Cairncross, S. (Editors). Organismo Mundial de la Salud .. Geneva. pp. 187
- OMS** (Organismo Mundial de la Salud). 2006. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water: Wastewater Use in Agriculture (Volume 2)*. OMS, FAO, UNEP. Geneva.
- OMS** (Organización Mundial de la Salud). 2010. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water in agriculture and aquaculture (3rd Edition) (Second information kit). Guidance Note for national programme managers and engineers: applying the guidelines along the sanitation ladder*, by Pay Drechsel and Bernard Keraita, IWMI
- OCDE** (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2011. *Meeting the challenges of financing water and sanitation- tools and approaches*. OCDE.
- Plataforma Urbana**. 2012. *Prensa: "Nueva planta de tratamiento deja a Santiago con el 100% de las aguas servidas saneadas"*. (Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2012/03/26/nueva-planta-de-tratamiento-deja-a-santiago-con-el-100-de-las-aguas-servidas-saneadas/>). Accedido el 20/10/2016
- Rao K, Hanjra M, Drechsel P and Danso G.** 2015. Business models and economic approaches supporting water reuse (Chapter 11). In P. Drechsel, M. Qadir, & D. Wichelns (Eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*: Springer Dordrecht Heidelberg New York London, on behalf of IWMI/ CGIAR/ UNU-INWEH
- SISS** (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2014. *Informe de Gestión del Sector Sanitario*. SISS. Chile
- Smith T.** 2011. *Overcoming Challenges in Wastewater Reuse: A Case Study of San Antonio, Texas*. Thesis presented to Harvard College Cambridge, Mass. E.U.A. (Disponible en: http://watersecurityinitiative.seas.harvard.edu/sites/default/files/Smith_Tiziana_Thesis_Final.pdf)
- Superservicios** (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios). 2013. *Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Superservicios. Colombia. Disponible en: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/4989/47298>
- Urquidi-Barrau, F.** 2015. Compendio de la situación de los recursos hídricos en las ciudades capitales departamentales de Bolivia en *Desafíos del agua urbana en las Américas*. IANAS. Mexico
- WSP** (Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial). 2007. *Saneamiento para el desarrollo: cómo estamos en 21 países de América Latina y el Caribe*. UNDP & Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial. Washington, DC.
- WSP** (Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial). 2013. *Iniciativa Economía del Saneamiento. Nicaragua: Costo del saneamiento inadecuado*. Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial. Washington, DC.

CAPÍTULO 6

Desarrollo de capacidades para un uso más seguro y productivo de aguas residuales en agricultura en América Latina y el Caribe

Jens Liebe, Javier Mateo-Sagasta



A pesar de que el uso sin control y sin planificación de las aguas residuales diluidas en la agricultura ha existido siempre, es tan sólo recientemente cuando la conservación del agua dulce a través del uso planificado de las aguas residuales regeneradas está suscitando un mayor interés. Con los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y la Meta 6.3¹ en particular, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales recibirán un nuevo empuje en las agendas de desarrollo. En este contexto, un creciente número de países están comenzando a interesarse, o ya están trabajando, en el desarrollo y fortalecimiento de sus capacidades para lograr un uso más seguro y más productivo de este recurso no convencional.

6.1 Principios

El desarrollo de capacidades ha sido definido como: “el proceso mediante el cual las personas, organizaciones y sociedades en su conjunto despliegan, fortalecen, crean, adaptan y mantienen capacidades a lo largo del tiempo” (OECD-DAC, 2006). Las capacidades son entendidas como el grupo de habilidades (individuales y colectivas) necesarias para desempeñar diferentes funciones, resolver problemas, establecer y lograr objetivos.

Tomando en cuenta la definición anterior, existen dos elementos a destacar. Primero, el desarrollo de capacidades es un proceso continuo y progresivo, y segundo, involucra un grupo diverso de agentes y grupos de interés (personas y organizaciones) de diferentes partes de la sociedad. Por lo tanto, el desarrollo de capacidades en un sector no sólo implica apoyar a las personas para adquirir nuevas habilidades y conocimientos, sino que también facilita la formación de un entorno donde esas habilidades y conocimientos pueden ser utilizados de una manera eficaz.

Se pueden identificar tres niveles o tipos de capacidades, que se ilustran en la Figura 6.1. El primer nivel es el individual, el cual involucra conocimientos y habilidades que permiten a una persona desempeñar una tarea de forma exitosa. La persona obtiene estas competencias no tan sólo de manera formal a través de educación o capacitación, sino que también informalmente a través de la práctica y la observación. El segundo nivel es el organizacional y se refiere a la estructura interna, políticas y procedimientos que permiten a las organizaciones tomar acción efectivamente hacia un objetivo específico – aquí es donde opera la capacidad institucional. El tercer nivel es el entorno habilitante, esto es, todas las reglas, leyes, relaciones de poder y normas sociales que regulan las interacciones sociales. El entorno habilitante también se entiende como un amplio sistema social donde las personas y las instituciones desempeñan sus roles.

6.1 Meta 6.3: Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

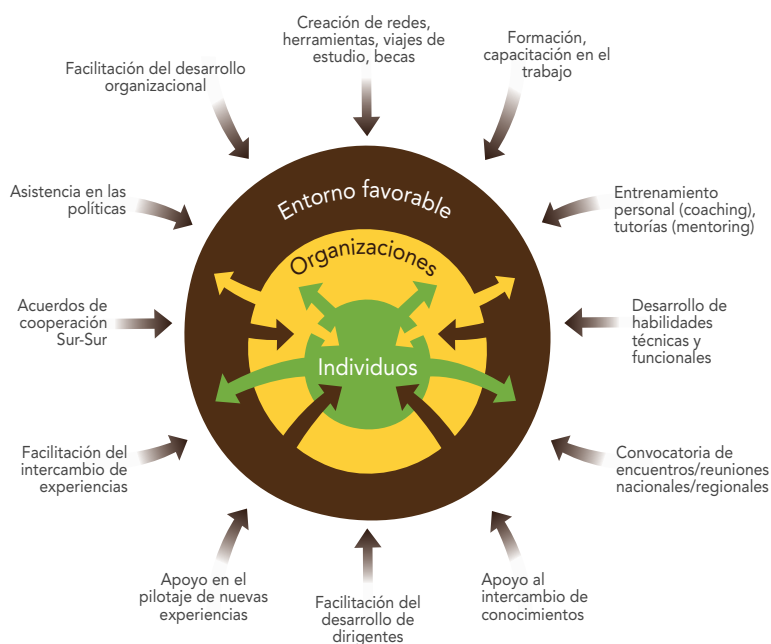


Figura 6.1. Visión holística del Desarrollo de Capacidades Institucionales. (Fuente: FAO, 2011)

Mientras que socios externos pueden brindar apoyo, los países poseen y gestionan su proceso de desarrollo, por lo tanto, el desarrollo de capacidades implica un fortalecimiento endógeno de habilidades y recursos existentes.

A menudo iniciativas aisladas, a pesar de su valor y buenas intenciones, logran muy poco debido a la complejidad de un asunto en particular, lo cual puede requerir la participación de diferentes organizaciones, ministerios y agencias. Por este motivo, la cooperación es un elemento crucial entre los diferentes actores e instituciones, desde los gobiernos locales y nacionales, hasta entidades internacionales y el sector privado. En el tratamiento de aguas residuales y su reutilización en la agricultura, existe un gran grupo de actores involucrados, y la implementación de nuevas políticas, proyectos o programas que se pueden beneficiar enormemente de la participación de diferentes agentes.

En base a este concepto general, el desarrollo de capacidades para el uso seguro de las aguas residuales en la agricultura se puede definir como el proceso a través del cual grupos de interés relevantes, especialmente aquellos provenientes de los sectores de saneamiento, agricultura, medio ambiente y alimentación, mejoran sus habilidades para desempeñar sus roles y responsabilidades, resolviendo problemas, definiendo y logrando objetivos, comprendiendo y abordando necesidades y trabajando efectivamente en conjunto para poder garantizar el uso seguro y productivo de las aguas residuales en la agricultura.

6.2 Capacidades necesarias en América Latina y EL Caribe

Esta sección se basa en la información entregada por los participantes del taller regional sobre uso seguro de aguas residuales en América Latina y el Caribe (ALC) realizado en diciembre del 2012 en Lima, Perú (más información disponible en <http://www.ais.unwater.org/wastewater>), ya sea a través de los informes país que ellos elaboraron (de los cuales se puede consultar un resumen mejorado en el Anexo de este informe) o a través de debates en grupo durante el taller. La información recopilada se enriqueció con sucesivas consultas y las necesidades de capacidades que se identificaron están consolidadas y resumidas en cinco grupos:

Análisis diagnóstico y monitoreo del manejo de aguas residuales

No se puede gestionar lo que no se puede medir. Un análisis diagnóstico requiere de una rigurosa y sistemática recolección y procesado de información sobre la cantidad y calidad de aguas residuales generadas, tratadas, reutilizadas y/o vertidas en un determinado lugar, así como sobre los cultivos que se riegan en caso de reutilización en agricultura. También incluye el análisis riesgos para la salud y el medio ambiente relacionados con la reutilización y otros aspectos socioculturales concernientes al uso de aguas residuales (costos, beneficios, actitudes, percepciones...). Un diagnóstico adecuado permite identificar los retos y problemas a abordar y es la base fundamental para el diseño de soluciones y la mitigación de riesgos.

En ALC, las ciudades producen grandes cantidades de aguas residuales, sin embargo en muchos casos la cantidad de aguas residuales producidas y su tratamiento efectivo y seguro no se conoce con exactitud. Todavía menos conocida es la proporción de recursos valiosos (esto es, agua, materia orgánica, energía, nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales que se recuperan y reutilizan para propósitos beneficiosos, incluyendo la agricultura. Además, hay poca información disponible sobre la calidad del agua utilizada para la producción de cultivos y sus efectos en la seguridad de los alimentos, la salud y el medio ambiente, y la información socioeconómica sobre el uso de las aguas residuales suele ser incompleta o no existe.

En algunos países de ALC los sistemas para la recopilación de datos sobre agua no están establecidos y simplemente no se recopilan datos. La información sobre el uso en la agricultura de aguas residuales no tratadas es particularmente deficiente, lo que en parte se debe al carácter informal de la práctica o, en algunos casos, a la intención de no revelar una información que se considera “sensible”.

Sin estos datos, el diagnóstico de los riesgos medioambientales y a la salud asociados con el vertido o el uso de aguas residuales, y el potencial para la recuperación de recursos provenientes de estos desechos, no se pueden cuantificar adecuadamente, no se pueden planificar soluciones y no se puede evaluar su éxito. Por lo tanto, es aconsejable invertir en incrementar las capacidades de ALC para generar datos confiables sobre la generación y uso aguas residuales y apoyarlos con definiciones y metodologías normadas para la generación de datos. Esto ayudará a las autoridades públicas a diseñar políticas bien enfocadas, mejorando a su vez la comparabilidad internacional y los esfuerzos de monitoreo global, lo que será crucial para evaluar el progreso hacia los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La iniciativa de ONU-Agua de Monitoreo Global Mejorado (GEMI, por sus siglas en inglés -<http://www.unwater.org/gemi/en/>) está actualmente desarrollando y testando marcos de monitoreo robustos y estandarizados para evaluar el progreso hacia las metas del ODS 6 de agua y saneamiento y los países de ALC necesitarán capacidades mejoradas para la adopción de estos marcos de monitoreo.

Coordinación institucional e integración de políticas

Tal como se concluyó en el taller regional para ALC, las áreas de capacidad relacionadas con los aspectos políticos (esto es, clarificación de roles y responsabilidades institucionales, diseño de leyes, regulaciones, planes y programas) son las más importantes, y a la vez las más débiles, en la región.

En muchos países de ALC los presupuestos y las políticas de manejo seguro de las aguas residuales son insuficientes o ineficaces. La legislación relativa a las aguas residuales muchas veces está obsoleta o es superficial y puede que incluso, como en el caso de Haití o Bolivia, las especificidades concernientes a la reutilización no se hayan abordado. Aunque las políticas sean claras dentro de un mismo sector, por ejemplo, el del saneamiento, los roles y responsabilidades de las instituciones son a menudo difusos o falta coordinación entre organizaciones a nivel nacional y local que dificulta el diseño e implementación de políticas eficaces.

El problema se intensifica cuando se trata de la reutilización segura de las aguas residuales en la agricultura que, por su naturaleza, requiere de coordinación institucional, no tan sólo dentro de un sector, sino entre sectores tales como el de saneamiento, agricultura, recursos hídricos y salud, por nombrar los más importantes. Además, otros grupos de interés como los grupos de regantes y grupos de consumidores, así como el sector privado, deben participar para facilitar el éxito de iniciativas de reutilización segura y productiva del agua.

Recuadro 6.1. Plataforma intersectorial para el diagnóstico y la planificación de la reutilización segura en Bolivia.

A menudo los temas intersectoriales son difíciles de coordinar por diversas razones, lo cual deriva en que los proyectos resultantes tengan muchos tropiezos hasta ponerse en operación, o en algunas ocasiones, ni siquiera se puedan iniciar. Los proyectos de reutilización de aguas, multisectoriales por naturaleza, no son una excepción.

En Bolivia, en una caracterización nacional de sistemas de riego se encontró que un número relevante de ellos usaban aguas residuales domésticas. Esto incentivó a la administración pública a buscar experiencias fuera de Bolivia y así nace la cooperación tripartita México-Alemania-Bolivia (COTRIMEX), impulsada con la cooperación Alemana en el financiamiento y el fuerte apoyo del Viceministerio de riego en Bolivia.

Rápidamente se ve la necesidad de reforzar esta alianza con el sector agua potable y saneamiento, clave para la gobernanza y proyectos de reutilización. Para coordinar acciones se crea una Comisión Mixta² de trabajo entre los Viceministerios de riego y de agua potable y saneamiento, junto con representantes de la cooperación internacional. Una particularidad importante y coincidencia feliz es que ambos Viceministerios son parte del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA).

La Comisión Mixta, no es cerrada en su conformación, y es así que en el tiempo y hasta ahora, se han sumado el Banco Mundial, y últimamente la cooperación Española (Figura 6.2). Se espera involucrar en el futuro al sector salud Organización Mundial de la Salud (OMS), al Ministerio de Salud y Deportes y a otras instituciones nacionales e internacionales que tengan interés en la reutilización segura del agua residual tratada.

Las conclusiones y recomendaciones de la Comisión Mixta, se convierten en parte oficial de las acciones tendientes a establecer una política de Estado en materia de reutilización de agua.



Figura 6.2. Entidades participantes en la Comisión Mixta de trabajo, Bolivia.

Fuente: Marka (2012)

6.2 MMAyA: Ministerio de Medio Ambiente y Agua, VRHR: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, VAPSB: Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, SENARI: Servicio Nacional de Riego, SENASBA: Servicio Nacional de Saneamiento Básico, PROAGRO: Programas de Desarrollo Agropecuario Sustentable de la Cooperación Alemana GIZ, PERIAGUA: Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas de la Cooperación Alemana GIZ.

Gestión de riesgos y el uso de las Guías de la OMS

Gestión de riesgos para la salud

Los riesgos a la salud provenientes del uso inseguro de aguas residuales se pueden manifestar como brotes de enfermedades transmitidas por el consumo de agua y alimentos contaminados (por ejemplo, infección intestinal por helmintos o enfermedades diarreicas) y enfermedades no transmisibles que resultan de la exposición a agentes tóxicos presentes en las aguas residuales (por ejemplo metales pesados provenientes de la industria). Además, han surgido algunas inquietudes relativas a contaminantes emergentes tales como residuos farmacéuticos cada vez más presentes en las aguas residuales.

Las Guías de la OMS para el Uso Seguro de Aguas Residuales, Excretas y Aguas Grises (OMS, 2006), abordan los riesgos a la salud asociados sobre todo a agentes patógenos, que son los epidemiológicamente más importantes. Las guías recomiendan una evaluación de riesgos y un enfoque de gestión de riesgos basados en el Convenio de Estocolmo y en la adopción de barreras múltiples (ver capítulo 4) conceptualmente más complejos que el enfoque tradicional de gestión de riesgos solo con tratamiento de aguas. Por lo tanto, acrecentar la capacidad a nivel regional y de país para comprender e implementar las Guías de la OMS 2006 es un aspecto clave, como corroboraron los participantes del taller regional de ALC. Se consideró que se debe abordar la falta de conocimientos y habilidades del personal involucrado en ciertas áreas de evaluación de los riesgos a la salud, tales como estudios epidemiológicos o análisis químico/microbiano de aguas y alimentos. También se determinó que la capacitación en medidas de protección de la salud, tales como los sistemas de tratamiento de aguas residuales para reutilización o prácticas agrícolas adecuadas para un uso seguro de aguas residuales, son muy importantes para todos los países que participaron en el taller.

Gestión de riesgos medioambientales

El uso de aguas residuales tiene el potencial de poder recargar acuíferos, pero también de contaminar las aguas subterráneas a través de la percolación del exceso de nutrientes y sales a través del suelo. Otro elemento de riesgo es el efecto de la escorrentía en los ecosistemas acuáticos. El agua de drenaje proveniente de áreas regadas con aguas residuales suele ser rica en nutrientes y cuando llega a lagos y lagunas pueden ocasionar eutrofización, crecimiento excesivo de micro-algas, hipoxia y reducción de la biodiversidad. El uso de aguas residuales en agricultura también puede aportar materia orgánica y micro y macro-nutrientes a suelos pobres pero sin un manejo adecuado algunos de estos elementos (incluyendo metales pesados) se pueden acumular en exceso en la zona radicular con efectos (fito) tóxicos. Sin prácticas apropiadas, el uso a largo plazo de las aguas residuales puede resultar en la salinidad del suelo y anegamiento, descomposición de la estructura del suelo y reducción general en la productividad agrícola.

La mayoría de los países de ALC consideran que es muy importante incrementar las capacidades relativas a la evaluación y prevención de riesgos medioambientales en la reutilización de aguas residuales. Para mitigar los riesgos medioambientales se necesita identificar, desarrollar, testar y adoptar a escala tecnologías y prácticas de gestión innovadoras y coste-eficaces (ver capítulo 4) y trabajar con los agentes implicados en el fortalecimiento de sus capacidades para la construcción, operación y mantenimiento de tecnologías y la adopción de prácticas sostenibles.

Economía para la reutilización y recuperación de recursos

En ALC, existen muchos ejemplos de plantas de tratamiento de aguas residuales que fallan debido a operación y mantenimiento deficientes (Lopera *et al.*, 2012; Marka, 2012; Pérez y Romero-Montás, 2012). Un factor clave suele ser la insuficiente capacidad y/o disposición al pago por servicios de agua por parte de las comunidades locales, junto con una precaria o inexistente estrategia de recuperación de costos por parte de las autoridades públicas (ver capítulo 5). Se reporta que esto es un gran reto en países con bajos ingresos en la región. Muchos proyectos de reutilización no pasan más allá de una fase piloto dependiente de subsidios, y no se replican y reproducen sin ayudas públicas. La economía de la reutilización del agua fue catalogada como una de las principales áreas donde a los participantes en el taller regional de ALC les gustaría ver capacidades reforzadas en sus respectivos países. Se señaló frecuentemente que para poder llevar a cabo un proyecto de reutilización viable y replicable, se necesita una justificación económica y una estrategia clara de recuperación de costos.

En ALC raramente se llevan a cabo justificaciones económicas completas, incluyendo evaluación de costes y beneficios ambientales y sociales, antes de invertir en un proyecto de tratamiento y reutilización de aguas (ver capítulo 5) a pesar de que existen directrices disponibles (por ejemplo, Hussain *et al.* 2001, FAO 2010 y Heinz *et al.* 2011). En proyectos de reutilización bien justificados un reto adicional se relaciona con la viabilidad financiera y la estrategia de recuperación de costos. La distribución equitativa de los costos del proyecto entre los diferentes grupos de interés– gobierno nacional, autoridades regionales de agua, agricultores, servicios municipales (públicos o privados) y/u otros actores relevantes – es crucial para su viabilidad ya que mejora la disposición al pago de estos grupos. Cuando los beneficios son compartidos por varios grupos, no tan sólo los agricultores, los costos también se pueden compartir. Un reparto no equitativo de los costes, o cuando el coste no es asumible por alguna de las partes, provoca resistencias por parte de los agentes ‘perjudicados” supone un gran desafío para la supervivencia de proyectos de reutilización ya construidos.

Existe una fuerte demanda para la capacitación de los planificadores hidrológicos y sus equipos en la elaboración de estos análisis económicos. Las agencias encargadas de proveer servicios de saneamiento, tratamiento y reutilización de aguas residuales necesitan tener acceso a estudios de caso reales de evaluación económica de proyectos e implementación de estrategias viables y equitativas de recuperación de costes que puedan ser adaptados y replicados en ciudades latinoamericanas. Por último, los responsables de las políticas y los inversionistas necesitan información basada en evidencias para justificar de mejor forma sus inversiones en proyectos de reutilización.

Recuadro 6.2. Empoderamiento de mujeres en el medio rural al encabezar proyectos de reutilización de agua en Brasil.

En el año 2015, la organización social sin ánimo de lucro Colectivo Cunha llevó a cabo un proyecto de reutilización de aguas grises para el riego de huertos familiares en la región árida de Cariri Occidental. El proyecto fue realizado en asociación con el colectivo PATAC y en cooperación del programa SEMEAR con apoyo de AECID/ IICA/FIDA. La misión principal del Colectivo Cunha es promover la igualdad de género.

En el medio rural de esta región, la división del trabajo en función de género es muy desfavorecedor para las mujeres. Para fortalecer su autonomía política y económica, el colectivo cuenta con grupos de mujeres que desarrollen acciones de organización social y política, de manera que su trabajo sea reconocido por la comunidad.

Se instalaron 3 plantas piloto de tratamiento de aguas grises para riego de huertos familiares en los municipios de Congo, Prata y Monteiro. Su objetivo no fue simplemente la instalación de estas plantas, sino difundir el conocimiento adquirido por el colectivo y sobre el potencial de la reutilización en la producción agrícola. El diseño y la implementación del proyecto fueron participativos, cooperativos y con protagonismo de las mujeres de la comunidad con el fin de contribuir al empoderamiento de las agricultoras.

El éxito del proyecto permite que estas mujeres prueben sus competencias para liderar de manera efectiva proyectos de gestión participativa, promoviendo así su rol de estar a cargo de la gestión y puesta en marcha de proyectos agrícolas y medioambientales. Durante la instalación del sistema, educadoras del colectivo enseñaban su funcionamiento y los beneficios que éste traería a la comunidad con el fin familiarizarlos con la práctica, promoviendo así la aceptación pública hacia estas tecnologías lo que permite incentivar la implementación de otros proyectos similares (Cunhã, 2015)

Aumento de la concientización y mejora de la comunicación

Se debe sensibilizar a los responsables de políticas en cuanto a la importancia de promover y regular la recuperación de recursos valiosos de las aguas residuales (por ejemplo agua y nutrientes) para su reutilización segura en agricultura como parte de la solución frente a problemas de contaminación de las aguas y la escasez de recursos. Además, se debe mostrar que la ausencia de políticas y regulaciones que permitan el uso seguro de aguas residuales a menudo no previene su uso, sino que lleva a prácticas inseguras con consecuencias indeseables para productores, consumidores o el medio ambiente.

Ya que el uso de aguas residuales afecta a un grupo diverso de actores, las campañas de comunicación y concientización se deben enfocar a todos estos diferentes grupos. Es un problema multisectorial, por lo que requiere la cooperación y coordinación de diferentes ministerios y sectores a nivel nacional. Responsables de formular políticas, expertos técnicos, investigadores, agricultores y consumidores deben ser abordados con diferentes tipos de materiales e información para garantizar el entendimiento de la importancia del tema y de sus riesgos y beneficios. Se debe concientizar a los agricultores, como usuarios principales de estas aguas, para que empleen prácticas seguras para proteger su salud y la de los consumidores de sus cultivos y la del medio ambiente.

El sector educativo también juega un rol importante. A nivel universitario, el tema de la reutilización de aguas residuales puede tener un lugar más prominente en la agenda de investigación y ser incluido en la malla curricular, a modo que pueda incrementar la base de conocimiento local y el equipo de expertos locales. El aumento de la concientización también debiese incluir a las escuelas, permitiendo que los niños aprendan el valor del recurso de las aguas residuales, y los beneficios que tiene la recuperación de recursos cuando se hace de manera segura, tal como se sugiere que ocurra en Perú, por citar un ejemplo (Chung-Tong, 2012).

La aceptación pública de la reutilización fue catalogada como altamente relevante por la mayoría de los países de ALC participantes en el taller regional, sin embargo se consideró que el conocimiento y las habilidades de comunicación de los agentes involucrados son muy básicas. Organizaciones representantes de Chile y México consideraron la necesidad de una mayor concienciación como de máxima prioridad. Para lograr una mayor aceptación general, el aumento de la concientización no se debe enfocar tan solo en los riesgos, sino que también en los beneficios que tiene el uso seguro de aguas residuales. Una forma de aumentar la concientización se vincula con el intercambio regional de experiencias, proyectos piloto e historias de éxito sobre cómo las prácticas seguras de reutilización de aguas ayudan a otros a solucionar problemas de escasez de agua y contaminación, para generar beneficios económicos y para mejorar las condiciones de vida de la población.

6.3 Referencias

Cunhã. 2015. *Mulheres rurais e reuso de água – uma experiência no Cariri Ocidental Paraibano*. Programa SEMEAR. Joao Pessoa, Brasil: Cunha (Disponible en: <http://www.portalsemear.org.br/publicacoes/mulheres-rurais-e-o-reuso-de-agua-uma-experiencia-no-cariri-ocidental-paraibano/>)

Chung-Tong, B. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Perú*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID).

FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. *The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture*. Water report 35. Roma: FAO.

FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. *Enhancing FAO's practices for supporting capacity development of member countries*. Learning Module 1. Roma: FAO.

Heinz, I., Salgot, M. & Mateo-Sagasta, J. 2011. Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers, *Water International*, 36:4, 455-466

Hussain, I., Raschid, L., Hanjra, M.A., Marikar, F. & van der Hoek, W. 2001. *A framework for analyzing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries: IWMI Working Paper 26*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Lopera, M.J., Campos, S.M. & Olarte, B.C., 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Colombia*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID).

Marka, L.G. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Bolivia*. National Report. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID).

OCDE-CAD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- Comité de ayuda al Desarrollo) 2006. *The challenge of capacity development: working towards good practice*. DAC Network on Governance. ODCE-DAC.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. *Guidelines of the safe use of wastewater, excreta and grey water*; Vol. 2: Wastewater Use in Agriculture. Ginebra, Suiza: OMS.

Pérez, A.L. & Romero-Montás, L.A. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en la República Dominicana*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID).

ANEXO



Este anexo presenta resumidamente los datos de disponibilidad y uso de aguas, producción, tratamiento y utilización de efluentes urbanos, políticas, instituciones e investigación relacionada, y las capacidades necesarias a desarrollar en quince países de ALC, para la reutilización de agua en forma productiva y más segura.

Los insumos surgieron en una primera instancia del taller regional sobre “Uso seguro y productivo de aguas servidas en agricultura”, llevado a cabo en Perú el año 2012. La agenda del encuentro y la lista de participantes en: <http://www.ais.unwater.org/wastewater>. Posteriormente, la información ha sido enriquecida y actualizada con los aportes de diversos autores.

Resúmenes Nacionales

1 Argentina

1.1 Disponibilidad y uso de agua

En Argentina, la disponibilidad de agua varía mucho en el tiempo y en el espacio. En un tercio del territorio se concentran el 84% de los recursos hídricos (y la mayor parte de la población), y los otros dos tercios están constituidos por regiones áridas y semiáridas (Lopardo, 2015; INDEC, 2012). Importantes provincias como Tucumán, Mendoza y Córdoba tienen una disponibilidad hídrica por habitante y año muy inferior al límite de estrés hídrico de Falkenmark (1 700 m³/hab/año) lo que tiende a motivar el uso de recursos hídricos no convencionales como las aguas residuales.

Cuadro A.1. Disponibilidad y usos de agua en Argentina.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2011	591	mm/año	
Recursos hídricos renovables totales	2011	876,2	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	21 141	m ³ año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2011	27,93	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2011	5,85	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2011	4	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2011	2 357	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

1.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

En el año 2013, la cobertura ofrecida por los sistemas de alcantarillado en los hogares argentinos era del 68% (OMS-UNICEF JMP, 2015) aunque hay grandes diferencias entre regiones. Mientras que en la Ciudad de Buenos Aires la cobertura de alcantarillado es de casi el 100% en la provincia de Misiones no alcanza el 20%. Como se deduce del Cuadro A.2, del total de aguas residuales recolectadas, sólo el 18.2% recibía en 2010 algún tipo de tratamiento.

Cuadro A.2. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Argentina.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas	2010	2,458	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales recolectadas	2010	1,596	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2010	0,29	10 ⁹ m ³ /año
Capacidad de las instalaciones de tratamiento de agua residual municipal	2010	0,295	10 ⁹ m ³ /año
Agua residual municipal no tratada	2010	2,168	10 ⁹ m ³ /año
Agua residual municipal tratada vertida (agua secundaria)	2000	0,0135	10 ⁹ m ³ /año
Uso directo de agua residual municipal tratada	2011	0,091	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: FAO (2016)

1.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

Ya en 2004 existían en Argentina al menos 20 000 hectáreas de superficie equipada para el riego con uso directo de agua residual municipal tratada (Jiménez, 2008). Además, se debe considerar el riego con aguas sin tratar o diluidas - que puede ocurrir en decenas de miles de hectáreas - (Thebo *et al.*, 2017, Jiménez, 2008), aunque la extensión precisa no está bien cuantificada.

Se conocen bien algunos casos locales, como el de la provincia de Mendoza, donde se estima que se riegan unas 15 000 hectáreas con aguas residuales tratadas, principalmente de las plantas de tratamiento de El Paramillo y Campo Espejo (Dagnino, 2012). La planta depuradora El Paramillo trata unos 91 000 m³/día, que se utilizan de manera directa para regar en verano cultivos restringidos especiales (Álvarez, 2008). También existen otras experiencias en utilización de aguas residuales tratadas en otras provincias, como Chubut, Córdoba (riego hortícola, florícola y forestal), Neuquén o Río Negro.

En el país hay pocos antecedentes sobre reutilización planificada de lodos fecales tratados. Un ejemplo es la producción de compost en la planta depuradora de la ciudad de Bariloche – Provincia del Río Negro.

1.4 Políticas e instituciones

Con respecto a la utilización de aguas residuales, incluyendo la reutilización agrícola, todavía no existe en el país una reglamentación específica, ni una ley nacional que fije los presupuestos mínimos para la reutilización con fines agrícolas. Tampoco existe reglamentación concreta para el control de calidad de productos regados con aguas residuales. Sin embargo, cabe destacar el trabajo realizado por Sartor y Cifuentes (2012) quienes presentan un proyecto de ley nacional, estableciendo las condiciones para promover la utilización de aguas residuales. Esta propuesta se encuentra actualmente en estado de revisión del Parlamento.

A nivel provincial, Mendoza es la única provincia que tiene una reglamentación específica para la utilización agrícola de aguas residuales tratadas (Resolución 35/1996) en puerto Madryn la regulación municipal de reutilización de aguas define los estándares de reutilización (Cuadro A.3)

Cuadro A.3. Parámetros microbiológicos para la reutilización del agua en Mendoza y Puerto Madryn.

Tipo	Riego de:	Nematodos (huevos/l)		parásitos		Coliformes totales /100ml		Tratamiento mínimo requerido	
		Mendoza	Puerto Madryn	Mendoza	Puerto Madryn	Mendoza	Puerto Madryn	Mendoza	Puerto Madryn
A	Hortalizas, frutos y otros productos de consumo en crudo	≤1	0	≤1 000	150			Laguna de estabilización	No definida
B	Campos deportivos, parques públicos	≤1	1	≤1 000	1 000				No definida
C	Cultivos industriales, árboles y pastos	≤1	1	Ausencia	-				No definida
D	Lo mismo que B pero con riego localizado	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica			Sedimentación primaria	No definida

Fuente: GWI (2012)

1.5 Investigación y desarrollo

La utilización de aguas residuales en Argentina es una práctica en expansión, especialmente en actividades relacionadas con el riego para la agricultura. Existen numerosos estudios relevantes como el Plan General que se empezó en 1991 en la provincia de Mendoza, para el tratamiento de las aguas residuales municipales y su reutilización en irrigación (Vélez *et al.*, 2002). Álvarez *et al.* en 2008 estudiaron el impacto que tiene la reutilización de efluentes cloacales en el agua subterránea. Otros estudios se centraron en investigar la productividad y calidad microbiológica de cultivos para consumo humano (ajo y cebolla), comparando aguas residuales tratadas y aguas de pozo, con y sin fertilizantes añadidos (Fasciolo *et al.*, 2002). Líneas de investigación más recientes se han basado en cultivos como la colza y su potencial para producir biodiesel al ser irrigados con aguas residuales (Rebora *et al.*, 2010); o para cultivos de alfalfa, obteniendo resultados positivos en cuanto a valor nutritivo, eficiencia del uso del agua y producción de biomasa aérea (Plevich *et al.*, 2012).

1.6 Capacidades necesarias

A pesar de que Argentina cuenta con las capacidades técnicas para promover un uso seguro y productivo de aguas residuales tratadas en agricultura, existen una serie de obstáculos que dificultan la implementación de esta práctica. Estos obstáculos incluyen una asignación insuficiente de recursos económicos, estrategias de financiación y recuperación de costes deficientes, la falta de una Ley Nacional de reutilización y el desconocimiento de las oportunidades y riesgos por parte de algunos actores clave.

Se considera oportuno impulsar un uso más eficiente del agua, incluyendo su reutilización, en planes y programas sectoriales, como el Plan Estratégico Agroalimentario¹.

Se recomienda promover la reutilización segura y aprender de experiencias similares a través de talleres que difundan las experiencias de otros países, permitiendo así el contacto de profesionales de diferentes especialidades para trabajar de manera interdisciplinaria y adquirir los conocimientos necesarios.

7.1 Más información en: http://www.hidricosargentina.gov.ar/politica_hidrica.php?seccion=2020

2 BOLIVIA

2.1 Disponibilidad y uso de agua

A pesar de que Bolivia cuente con abundantes recursos hídricos (Cuadro A.4), este país sufre un claro contraste temporal y espacial en la disponibilidad de agua. Mientras que la cuenca del Amazonas es muy rica en recursos hídricos, la zona del Altiplano Andino recibe muy poca precipitación. En total existen 448 700 km² (alrededor del 41% del territorio nacional) con más de 6 meses de déficit hídrico al año y que por tanto son prioritarias para riego (Marka, 2012; Ministerio del Agua², 2007). El fuerte crecimiento demográfico y las actividades industriales y mineras, junto con una baja cobertura del saneamiento básico, causan problemas de contaminación del agua en muchas partes del país, y agravan los conflictos entre los usuarios del agua (FAO, 2013).

Cuadro A.4. Disponibilidad y usos de agua en Bolivia.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 146	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	574	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	53 520	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2008	1,92	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2009	0,136	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2009	0,032	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2011	297,2	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

2.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

En el año 2012, tan solo el 40% de la población en Bolivia contaba con sistemas de alcantarillado y recolección de aguas residuales (OMS-UNICEF JMP, 2015). De las aguas residuales recolectadas solo una porción menor se trata y parte del agua residual no tratada se usa directamente en agricultura (Cuadro A.5).

Cuadro A.5. Producción y tratamiento de aguas residuales en Bolivia.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas*	2011	0,262	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas**	2013	0,104	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: * MMyMA (2013) y ** INE (2015)

En un estudio que recabó datos de 2011 a nivel nacional (MMAyA, 2013) se examinaron 111 centros poblados de más de 2 000 habitantes. De estos centros, 84 cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con diversos tipos de tratamiento como lagunas de estabilización, tanques Imhoff o fosas sépticas, pero que presentan problemas de funcionamiento (37%) o baja efectividad (63%) en la mayoría de los casos. El resto de poblaciones no cuenta con ningún tipo de tratamiento. Los mayores problemas y deficiencias en la operación y el mantenimiento de PTARs se generan por insuficiente per-

7.2 El año 2009 se amplían las competencias del Ministerio del Agua, denominándose posteriormente Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

sonal, débil capacidad técnica, vertidos tóxicos (industriales o mineros) que deterioran los procesos de tratamiento y el insuficiente presupuesto para una administración adecuada (MMAyA, 2013).

2.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

Una gran parte de aguas residuales son utilizadas (directa o indirectamente) en el riego, y muy a menudo para hortalizas. En las regiones áridas y semiáridas de Bolivia estas aguas se han establecido como fuente suplementaria debido a la escasez o difícil acceso y el incremento de la demanda. Se estima que en el país se riegan de forma directa (sin apenas dilución) entre 5 700 y 7 000 ha con aguas residuales tratadas y no tratadas (MMAyA, 2013; Marka, 2016) que representa un 2% del total de superficie regada.

En zonas específicas como en el departamento de Cochabamba las aguas residuales tratadas y sin tratar se aprovechan de forma directa para riego de más de 2 600 hectáreas (MMAyA, 2013). El municipio de Patacamaya, situado a 101 km de la ciudad de La Paz, cuenta con dos plantas de tratamiento, cuyos efluentes son descargados en el río y empleados de manera indirecta en el riego de campos agrícolas. También existe en Punata una planta de tratamiento de agua que utiliza la tecnología de lagunas de estabilización y humedales artificiales, donde fueron los agricultores que organizaron un sistema de irrigación, construyendo canales para aprovechar los efluentes tratados (Marka, 2016)

2.4 Políticas e instituciones

Para abordar la problemática desde las instituciones y cooperación, se conformó una “Comisión Mixta” con el objetivo de analizar y proponer mecanismos de control más efectivos, medidas de uso eficiente y análisis de los problemas derivados del uso de agua residual en riego. Esta Comisión Mixta está conformada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua con su Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego y Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico; instituciones como el Servicio Nacional para la Sostenibilidad de los Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA), además de la Cooperación Alemana GIZ y el Banco Mundial. Como resultado del trabajo de esta comisión se han producido propuestas y estrategias de capacitación para promover una reutilización más productiva, segura y sostenible, además de generar otras propuestas concernientes al marco regulatorio, aspectos de financiamiento y de comunicación.

No obstante, actualmente no existe en Bolivia una norma de reutilización de aguas residuales que establezca unos parámetros de calidad de efluentes para diferentes tipos de cultivo, o bien reglamentos y guías técnicas de diseño de PTAR con fines de reutilización. Tampoco se ha establecido quiénes serían los entes responsables de esta práctica (p.ej. promotores, administración, etc.) (MMAyA, 2013). La ley de Medio Ambiente 1333, 1992, no diferencia la calidad de los vertidos para diferentes cuerpos de agua. Los parámetros de calidad impuestos para el agua de riego son demasiado estrictos para ser cumplidos con las tecnologías disponibles: menos de 2 mg/L de DBO₅, coliformes fecales entre 5 y 50 NMP/100 ml y menos de 10 mg/L de sólidos en suspensión. Esto implica que si el sector de irrigación pretende reutilizar aguas domesticas tratadas viables y dentro del marco legal se deben hacer modificaciones a esta ley. Las regulaciones actuales se basan en estudios de la EPA y regulaciones empleadas en México (Marka, 2016)

2.5 Investigación y desarrollo

El Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), situado en el departamento de Cochabamba y perteneciente a la Universidad Mayor de San Simón del Estado, está ejecutando dos proyectos financiados por DANIDA (Agencia Danesa para el Desarrollo Internacional) para el desarrollo de una estrategia de gestión integrada de recursos hídricos. Uno de los objetivos (proyecto TEC-AGUA) es el desarrollo de las capacidades de los actores locales, orientadas a la innovación tecnológica en la reutilización de aguas residuales con fines agrícolas.

En 2006 se inició un convenio de cooperación interuniversitaria entre la Universidad Mayor San Simón y la Universidad de Barcelona, con el que se construyeron humedales para la depuración de aguas residuales en el municipio de Punata (Cochabamba).

Por parte del gobierno, se ha creado la Empresa Estratégica de Producción de Fertilizantes Orgánicos,

que está permitiendo desarrollar baños ecológicos y tratamiento de aguas residuales a pequeña escala para la reutilización de las aguas.

El uso de las aguas residuales específicamente para riego en agricultura también ha sido investigado por varios autores (Martijn *et al.*, 2005; Zabalaga *et al.*, 2007).

2.6 Capacidades necesarias

El crecimiento urbano en las principales ciudades de Bolivia requiere establecer una estrategia de inversión para la construcción y/o ampliación o rehabilitación de los sistemas de alcantarillado y las plantas de tratamiento de aguas residuales. Uno de los mayores problemas es la operación y mantenimiento de las PTAR (MMAyA, 2013), ya que las PTAR evaluadas se encuentran sobrecargadas, y la mayoría sin operación, por falta de recursos y capacidades de los operadores.

Para mejorar las capacidades del país para promover una reutilización más segura y productiva Marka (2016) recomienda: (i) el desarrollo de planes municipales con énfasis en tratamiento y reutilización, (ii) la generación de incentivos para uso racional del agua y reutilización de aguas residuales, (iii) la identificación de alternativas para intercambio de aguas residuales tratadas por aguas dulce entre sectores, (iv) el establecimiento de controles para monitorear la calidad del agua en los cuerpos de aguas y las aguas de riego, (v) la promoción del buen uso de alcantarillado y de los beneficios de la reutilización de aguas residuales tratadas y (vi) el establecimiento de metas de salud y multi-barreras en los proyectos de reutilización como recomendado en OMS (2006).

El Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico constituye un instrumento institucional innovador para consolidar la sostenibilidad y el impacto de los servicios de agua y saneamiento en el país, a través de la participación y el empoderamiento de la población, aplicando una estrategia social de desarrollo comunitario y fortaleciendo las capacidades de gestión de los operadores.

3 BRASIL

3.1 Disponibilidad y uso de agua

Brasil es un país con abundantes recursos hídricos, aunque estos no se encuentran distribuidos de forma homogénea en todo su territorio. El noroeste del país concentra la mayor parte de los recursos hídricos en la Amazonia, siendo la zona más despoblada de Brasil. En cambio, en el interior del noreste del país, considerado una de las zonas semiáridas más densamente pobladas del mundo, existen problemas de escasez de recursos hídricos. Otras áreas densamente pobladas del sur y sureste sufren escasez de agua crónica, debido a la sobreexplotación y los usos incontrolados con fines industriales, domésticos y agrícolas. En la zona central del país también existe escasez de agua durante los meses más secos, afectando principalmente al riego agrícola (Clevelario *et al.*, 2005). En relación al consumo de los recursos hídricos, el 60% se utiliza en la agricultura, 23% para uso doméstico y 17% para actividades industriales (FAO, 2016).

Cuadro A.6. Disponibilidad y usos de agua en Brasil.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 761	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	8 647	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	41 603	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2010	44,9	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2010	17,21	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2010	12,72	10 ⁹ m ³ /año
Por fuente	Extracción total de agua dulce	2010	74,78	10 ⁹ m ³ /año
	Agua desalinizada producida	2010	0,04	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2010	5 400	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

3.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

Como se deduce del Cuadro A.7, el 53% de las aguas residuales municipales generadas son recolectadas y el 70% de ellas son tratadas, por tanto tan sólo el 37% de aguas residuales generadas son tratadas (SNIS, 2014).

En relación al nivel de tratamiento recibido, el 21% (p.ej. 1.8 millones m³/d) de las aguas residuales tratadas se someten únicamente a un pre-tratamiento, el 17% (p.ej. 1.4 millones m³/d) tienen un tratamiento primario, el 52% (p.ej. 4.3 millones m³/d) es secundario y finalmente un 10% (p.ej. 0.8 millones m³/d) reciben un tratamiento terciario (IBGE, 2008). Los sistemas de tratamiento secundario más comúnmente aplicados son las lagunas facultativas (30%), lagunas anaeróbicas (19%), filtros biológicos (14%), lagunas de maduración (10%), reactores anaeróbicos (8%), lagunas aeróbicas (6%), humedales (5%), lagunas aireadas (4%), lagunas mixtas (3%), y finalmente lodos activados (1%) (IBGE, 2008).

Cuadro A.7. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Brasil.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas	2014	10,1	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales recolectadas	2014	5,36	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2014	3,76	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales no tratadas	2014	6,37	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: SNIS (2014)

3.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

Las aguas residuales no recolectadas son destinadas a fosas sépticas de drenaje, fosas secas, zanjas a cielo abierto, o simplemente son vertidas a otros cuerpos de agua sin tratar (IBGE, 2011).

Del total de municipios de Brasil (5 564) se tratan las aguas residuales en 1 513 y sólo el 8.3% (p.ej. 125 municipios) realizan algún tipo de reutilización directa (IBGE, 2008). De los distintos usos posibles, el 50.4% de las aguas tratadas van dirigidas al uso agrícola, el 16% a los servicios urbanos, 8.8% a la acuicultura, y sólo un 3.2% a las actividades industriales. El 26% restante se destina a otros tipos de usos no especificados (IBGE, 2008). En Sao Paulo, por ejemplo, se reutilizan aguas residuales tratadas para limpieza de vías y monumentos de la ciudad. Existen otros proyectos de reutilización como “The Aquapolo project”, el mayor sistema de reutilización con fines industriales de todo el hemisferio sur (Governo do Estado de São Paulo, 2012).

Brasil está planificando un incremento en la reutilización de aguas residuales, no sólo para combatir la escasez de agua, sino también como una estrategia rentable para tratar las aguas residuales. Existe un interés en irrigar cultivos de tallo alto o de forrajes, para la recarga de acuíferos, y para usos industriales (Jiménez *et al.*, 2008).

En 2008, el 44% de los municipios brasileños con red de alcantarillado ya estaban invirtiendo para ampliar y mejorar los sistemas de recolección, en comparación con datos de 2000 donde sólo el 30.3% invertían en este servicio. No obstante, sólo un 13.7% de estas inversiones iban dirigidas a mejorar los sistemas de tratamiento (IBGE, 2011).

3.4 Políticas e instituciones

En 1977 la Política Nacional de Recursos Hídricos de Brasil ya consideraba la reutilización del agua y reconocía las aguas regeneradas como un recurso hídrico.

Sin embargo, no existen normas nacionales para la reutilización de aguas. Existen lineamientos y directrices que no son obligatorios. Normas como la NBR 13.969/1997 proponen opciones para el tratamiento y uso final de aguas residuales procedentes de fosas sépticas. En la Sección 6 se fomenta además la implementación de propuestas para reutilizar las aguas residuales, distinguiendo categorías relacionadas con uso final y calidad requerida (GWI, 2012)

En 2005, el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprobó una resolución general sobre la reutilización del agua (Resolución n° 54, de 28 de noviembre de 2005) (CNRH, 2005). Ésta resolución especificaba la necesidad de desarrollar propuestas para reutilizar agua y definir los tipos de programas de reutilización, aunque no especificó una normativa para calidad del agua. Además, el Instituto Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) estableció la Resolución CONAMA N° 357/2005, donde se clasifican las masas de agua y se establecen condiciones y estándares respecto a su calidad y uso. La reciente Resolución N° 430/2011 determina los umbrales de calidad para el vertido de distintos efluentes.

Otras iniciativas relacionadas son PROAGUA (Programa Nacional de Gestión de Recursos Hídricos) y PRODES (Programa de Restauración de Cuencas Hidrográficas). En concreto, PRODES financia plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo incentivos para aquellas plantas operando correctamente.

Finalmente en 2013 el Gobierno Federal aprobó el Plan de Saneamiento Nacional (PLANSAB), incluyendo como uno de los objetivos el alcanzar en 2033 un 93% de cobertura para saneamiento básico en zonas urbanas (Portal Brasil, 2013). El plan prevé ayuda para aquellos municipios que desarrollen planes locales para sus aguas residuales.

Alguna de las políticas más específicas que influyen notablemente en la reutilización de las aguas residuales se puede observar en la ciudad de Sao Paulo, donde el costo del agua potable es de 2,7 US\$/m³, frente a sólo 0,17 US\$/m³ para aguas residuales tratadas, favoreciendo así el uso de las aguas residuales tratadas (Jiménez *et al.*, 2008).

3.5 Investigación y desarrollo

Hay que destacar el Programa de Investigación y Saneamiento Básico (PROSAB) que incluye una red de Investigación sobre la reutilización de aguas residuales, desarrollando tecnologías de tratamiento para este fin (PROSAB, 2006). Durante 4 años el PROSAB ha investigado la viabilidad de la utilidad múltiple de las aguas residuales tratadas para usos en fertirrigación y producción animal, aplicando tratamientos como reactores RAFA (reactores anaeróbicos de flujo ascendente), bio-filtros y lagunas de estabilización (Bastos *et al.*, 2005).

También se han realizado otros trabajos específicos para estudiar el desarrollo de cultivos de sandía (Rego *et al.*, 2005) o lechuga (Urbano *et al.*, 2013), al aplicar aguas residuales tratadas. Otros estudios se centran en la aplicación de estas aguas sobre especies de forraje y en las propiedades químicas del suelo (García *et al.*, 2012). En relación a la correcta gestión y monitoreo de las características del suelo y el cultivo al aplicar aguas residuales, cabe destacar el trabajo realizado por Barroso *et al.*, (2011).

3.6 Capacidades necesarias

Para implementar la reutilización en Brasil se necesita que organismos como la Agencia Nacional de Aguas (ANA), el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio de Medio Ambiente, los departamentos estatales de recursos hídricos, los comités de cuencas y compañías de sanitarias locales y estatales tomen iniciativas tales como:

Desarrollar un marco jurídico que regule, guíe y promueva esta práctica. Este debe incluir estándares de calidad de agua, normas y responsabilidades institucionales para los distintos tipos de reutilización, particularmente para usos urbano y agrícola.

Fomentar la reutilización a través de campañas de sensibilización de las ventajas y beneficios que ésta representa, creación de programas de investigación y desarrollo, implementación de programas y proyectos de demostración, introducción de líneas específicas de crédito (Galizia *et al.*, 2015).

4 CHILE

4.1 Disponibilidad y uso de agua

La disponibilidad de agua en Chile es muy variable, tanto estacional como geográficamente. Así, por ejemplo, en la zona norte del país se dispone de menos de 800 m³/hab/año, mientras que en el sur se alcanzan valores de 10 000 m³/hab/año (DGA, 2011). No obstante, de media, el país disfruta de abundantes recursos hídricos renovables por persona (Cuadro A.8).

Cuadro A.8. Disponibilidad y usos de agua en Chile.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 522	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	923,1	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	51 432	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2006	29,42	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2006	1,267	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2006	4,744	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2007	1 109	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

4.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

La cobertura nacional de alcantarillado urbano alcanzó un 97% en el año 2015, de las aguas residuales domésticas recolectadas un 99% fueron tratadas en 290 PTARs o vertidas mediante emisarios submarinos (SISS, 2016). Respecto al sistema de tratamiento utilizado, se pueden distinguir los siguientes tipos: lodos activados (60%), lagunas aireadas (19%), emisarios submarino (11%), Lagunas de estabilización (4%), tratamiento primario y desinfección (4%) y otros (2%) (SISS, 2016).

Cuadro A.9. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en Chile.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas	2015	1,181	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales recolectadas	2015	1,181	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2015	1,180	10 ⁹ m ³ /año
Número de instalaciones de tratamiento de agua residual municipal	2015	290	-
Uso directo de agua residual municipal tratada en agricultura de regadío	2015	0,013	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: SISS (2016)

Nota: el volumen de aguas residuales municipales tratadas incluye las aguas vertidas por emisarios submarinos

4.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

Un 1.1% de las aguas residuales tratadas se usa de forma directa y planificada en el riego agrícola, lo que supone unos 13 millones de m³ al año. La mayor parte de las aguas residuales tratadas son vertidas a los cauces de los ríos y el mayor porcentaje de reutilización en agricultura se produce de forma indirecta. Aunque también se observaban prácticas de utilización directa de aguas residuales sin tratar en riego a pequeña escala este tipo de reutilización actualmente marginal al haberse elevado la cobertura de tratamiento.

Si el caudal actual de aguas residuales tratadas (excluyendo la vertida por emisarios submarinos) se usara en agricultura, se podría irrigar una superficie de una 25 000 ha a nivel nacional (Navarrete &

Vilches, 2012). Esto supondría un aumento de superficie para riego de 2.3% en todo el país. La Región Metropolitana de Santiago es la región que mayor caudal de aguas residuales genera. Se calculó que utilizar los 12,52 m³/s efluentes de las PTAR en operación permitirían incorporar a la superficie total de riego de esa Región más de 12 500 ha nuevas, lo que equivaldría un incremento del 9.15 % de la superficie actual (Navarrete & Vilches, 2012).

4.4 Políticas e instituciones

La responsabilidad normativa para el saneamiento de zonas urbanas recae sobre el regulador económico, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), que tiene las funciones de supervisar y fiscalizar a los prestadores de servicios sanitarios, definir las tarifas y actuar como instancia administrativa para resolución de conflictos entre prestadores de servicios y consumidores. Otros actores en la gestión de aguas residuales son:

- El Ministerio de Economía, que fija los precios regulados por la Superintendencia.
- El Ministerio de Obras Públicas, que asigna los derechos de agua, a través de la Dirección General de Aguas (DGA), y promueve el saneamiento rural.
- El Ministerio de Salud, que controla el agua de riego de los cultivos alimentarios.
- El Ministerio de Medio Ambiente que analiza los impactos ambientales relacionados a cada proyecto
- La Fiscalía Nacional Económica, con la vigilancia general de las normas de competencia y los consumidores finales. (SISS, 2014).

La Ley General de Servicios Sanitarios regula las tarifas y el régimen de concesiones de aguas sanitarias. La norma NCh 1.333/87 establece las recomendaciones de calidad de agua para riego, y usos ambientales y recreativos (por ejemplo < 1000 UFC de coliformes fecales por 100 ml de agua de riego). Para cumplir esta norma, las aguas residuales deben de ser adecuadamente tratadas antes de su uso en agricultura. Aunque la norma no es de obligado cumplimiento se utiliza para otorgar autorizaciones ambientales para proyectos que usen el agua para los propósitos mencionados antes.

4.5 Investigación y desarrollo

En las zonas más áridas del país se ha estudiado y considerado la reutilización de aguas residuales para luchar contra la escasez desde hace muchos años (Cáceres *et al.*, 1992; Astaburuaga, 2004). Destaca el proyecto para promover el desarrollo de áreas verdes y jardines en ciudades de zona áridas en el norte de Chile con aguas residuales tratadas de origen doméstico e industrial. Además de las aguas residuales, el uso de lodos procedentes de las PTAR para los cultivos agrícolas fue investigado por Marambio, C., & Ortega, R. (2003). La Universidad de Tarapacá y la Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura (FIA) están realizando un proyecto piloto que pretende implementar el sistema Vetiver en el Valle de Lluta, éste consiste en tratar el agua de manera biológica utilizando la especie de pasto tropical Vetiver como filtro biológico para la eliminación de contaminantes. El sistema propone aprovechar 1 000 l/s para el riego de 2 200 hectáreas (ECONSSA, 2013).

4.6 Capacidades necesarias

Existen los conocimientos técnicos en organismos clave así como el acceso a la tecnología para la utilización de aguas residuales tratadas, tanto en agricultura como en otros usos. Sin embargo, no existen antecedentes prácticos del uso de aguas residuales en cultivos a nivel masivo o escalas que entreguen información contundente. Es por esto que un área del conocimiento a desarrollar a través de experiencias prácticas que consideren agricultura a pequeña, mediana y gran escala que sirvan para el desarrollo de capacidades locales y como proyectos demostrativos. Asimismo, es importante seguir promoviendo la difusión de información respecto al uso seguro de alimentos irrigados con estas aguas, siempre bajo condiciones de cumplimiento con la normativa existente.

5 COLOMBIA

5.1 Disponibilidad y uso de agua

Colombia es uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo (Cuadro A.10). Disfruta de abundantes reservas, tanto subterráneas como superficiales (pantanos y lagos naturales y artificiales, humedales y glaciares, entre otros). Sin embargo la disponibilidad del recurso es cada vez menor, ya que frecuentemente la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, muchos ecosistemas no ven cubiertas sus necesidades hídricas y la contaminación es cada vez más grave (IDEAM, 2008).

Cuadro A.10. Disponibilidad y usos de agua en Colombia.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	3 240	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	2 360	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	48 933	m ³ / año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2008	6,391	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2008	3,134	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2008	2,242	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2011	1 087	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

5.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

El Cuadro A.11 muestra la cantidad de aguas residuales municipales producidas, recolectadas y tratadas. La cobertura de los servicios de alcantarillado ha aumentado significativamente en los últimos años. En 2012, el 92% de la población urbana de Colombia contaba con servicios de recolección de aguas residuales, mientras que de la población rural solo el 14% contaba con este servicio (OMS-UNICEF JMP, 2015).

El número total de sistemas de tratamiento de aguas residuales en 2012 era 583, de los cuales 83 se encontraban fuera de operación y 13 se encontraban en construcción. A pesar de haber habido un aumento en el número de plantas en los últimos años, la cobertura de depuración todavía se mantiene baja con aproximadamente un 70% de aguas residuales municipales sin tratar (Superservicios, 2013). Los sistemas de tratamiento dominantes son las lagunas aerobias y anaerobias (55%), lodos activados (22%), filtros percoladores (14%) y finalmente los sistemas RAFA (9%) (Lopera *et al.*, 2012). Muchas PTAR tienen problemas de operación y mantenimiento (solo el 51% de ellos presenta un funcionamiento bueno o regular) (Lopera *et al.*, 2012), y hay gran interés en desarrollar estrategias de sostenibilidad financiera. En el 77% de los proyectos de tratamiento de aguas residuales no se ha elaborado un estudio de impacto tarifario (PMAR, 2004).

Cuadro A.11. Producción y tratamiento de aguas residuales en Colombia.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas	2012	2,342	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2012	0,731	10 ⁹ m ³ /año
Número de PTARs	2012	583	-

Fuente: Superservicios (2013)

5.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

En la mayoría de los municipios, principalmente en la zona andina, las aguas residuales se vierten directamente a los cauces de agua ubicados en la periferia urbana, en muchos casos sin tratar (Lopera *et al.*, 2012).

El uso directo de aguas residuales (tratadas o no) es limitado, pero el uso indirecto de aguas sin tratar (p.ej. el uso de aguas residuales diluidas) está extendido, debido a la baja cobertura de depuración. La baja cobertura de tratamientos de aguas residuales se compensa con una gran capacidad de dilución en la red hidrográfica del país, y no se conoce bien la extensión de cultivos regados con aguas contaminadas. Como ejemplos concretos, en Ibagué se han venido regando con aguas residuales más o menos tratadas y diluidos diferentes cultivos, principalmente arroz, y también algo de sorgo, tabaco, frutales y otros. Por último, los efluentes procedentes de las PTAR Salitre y Canoas son actualmente utilizados, no sólo para riego agrícola y paisajístico, sino también para uso industrial y recarga de acuíferos (Lopera *et al.*, 2012).

5.4 Políticas e instituciones

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es la entidad encargada de emitir los lineamientos en la gestión del recurso hídrico, dicta las normas y regulaciones tendientes a controlar la contaminación hídrica; evalúa estudios y otorga licencias ambientales de proyectos de manejo y tratamiento de aguas residuales, y planifica y coordina el servicio público de alcantarillado. Existen otras instituciones que participan en estas actividades, tales como el Ministerio de Salud, el Departamento Nacional de Planeación, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, la Superintendencia de Servicios Públicos y las Corporaciones Autónomas Regionales.

La Ley 373 de 1997 (modificada parcialmente por la Ley 812/2003 y la Ley 1339/2009) en su artículo 50 promueve la reutilización obligatorio del agua, siempre que el proceso técnico y económico así lo amerite y aconsejen, según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental. El Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Económico reglamentarán en un plazo máximo de seis meses, contados a partir de la vigencia de la mencionada ley, los casos y los tipos de proyectos en que se deberá reutilizar el agua”

El Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud (modificado por el Decreto 3930/2010) reglamenta los usos del agua y los residuos líquidos, incluyendo el uso agrícola; para ello establece los criterios admisibles para el uso del recurso (capítulo IV, artículo 40): el boro deberá estar entre 0.3 y 4.0 mg B/l, dependiendo del tipo de suelo y de cultivo; el NMP de coliformes totales y fecales no deberá exceder de 5 000/100 ml y 1 000/100 ml, cuando se use el recurso para riego de frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto respectivamente.

5.5 Investigación y desarrollo

Actualmente hay diferentes centros y universidades trabajando en el ámbito de las aguas residuales y su reutilización. Se destacan cuatro universidades con grupos de investigación en cada una. La Universidad Tecnológica de Pereira trabaja en la gestión de la calidad y el desarrollo de tecnologías apropiadas de tratamiento. Se puede distinguir el trabajo realizado por García *et al.*, (2013) sobre tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales y su efecto sobre plantas y eliminación de patógenos. Entre las líneas de investigación desarrolladas por la Universidad del Valle se destaca la educación en higiene, los alcantarillados no convencionales y la reutilización de aguas residuales. Así, en 2009 se publicó un trabajo con la Universidad de Leeds sobre la reutilización de aguas residuales y su aplicación en cultivos de caña de azúcar en el sur-este de Colombia (Madera *et al.*, 2009). La Universidad de Pamplona trabaja la simulación y ordenamiento hídrico. Finalmente, la Universidad Nacional de Colombia ha trabajado en la reutilización del agua en el sector floricultor de la Sabana de Bogotá (Lopera *et al.*, 2012).

Valencia *et al.* (2010) propusieron un esquema metodológico para la reutilización de aguas domésticas, en 2012 propusieron también la reutilización del efluente de la planta de tratamiento del municipio de Nátaga en el riego agrícola de campos de cacao. En el valle de Cauca, Silva *et al.* (2008) hallaron que al reutilizar los efluentes de la PTAR de Cali en el riego de caña de azúcar se evitaría la descarga de alrededor de 43 toneladas de DBO₅ y 21 toneladas de sólidos en suspensión por día al río Cauca. Se realizó una evaluación de como la reutilización del agua puede contribuir con la seguridad agroalimentaria (Osorio, 2006). Más tarde, en 2012, Echeverri *et al.* evaluaron la calidad del efluente de la PTAR de Cali

para reutilización de uso agrícola, comparándola con la del agua subterránea, los resultados del estudio dieron paso al planteamiento de un proyecto de reutilización para el riego de caña de azúcar.

5.6 Capacidades necesarias

A pesar de que el uso indirecto de aguas residuales en la agricultura es muy común en Colombia, aún no se han desarrollado capacidades ni políticas suficientes para hacer un uso seguro de esas aguas. Por otro lado, la reutilización directa y planificada no es frecuente en el país. Es por ello que se requiere un fortalecimiento en las siguientes áreas:

- sensibilización de los agricultores sobre los riesgos de hacer un uso inseguro de aguas residuales, y de la población civil sobre los beneficios de reutilizar el agua de una manera segura,
- capacitación del personal de las entidades encargadas de plantear políticas y de ejecutar actividades de planificación y ordenamiento del recurso hídrico,
- coordinación interinstitucional en la regulación y medición, tanto de los vertidos como del uso de aguas residuales en diversas actividades,
- diseño e implementación de instrumentos eficaces de monitoreo y control de fuentes hídricas y cuerpos de agua.

6 ECUADOR

6.1 Disponibilidad y uso de agua

A pesar de que los recursos hídricos renovables por persona y año a nivel nacional sean altos (Cuadro A.12), el país ofrece un evidente contraste en la distribución de sus recursos hídricos: la vertiente Pacífico dispone del 19% del recurso hídrico total y alberga el 88% de la población (disponibilidad media: 5 200 m³/hab/año), mientras que la vertiente Amazónica dispone del 81% del agua total y solamente alberga el 12% de la población (disponibilidad media: 82 900 m³/hab/año) (SENAGUA, 2012). Aunque el agua es abundante, su contaminación es un problema muy serio, especialmente cerca de las áreas pobladas, lo que limita sus usos domésticos, productivos y recreativos (CEPAL, 2012).

Cuadro A.12. Disponibilidad y usos de agua en Ecuador.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	2 274	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	442,4	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	27 403	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2005	8,076	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2005	1,293	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2005	0,549	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2010	1 500	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

6.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

Aunque la cobertura de saneamiento en Ecuador se ha incrementado considerablemente en los últimos años, solo el 61% de la población total (el 6% de la población urbana y el 23% de la población rural) tenía acceso a sistemas de alcantarillado para recolección de aguas residuales en el año 2012 (OMS-UNICEF JMP, 2015). Si se consideran otros sistemas de recolección in-situ de aguas residuales (por ejemplo, fosas sépticas), la cobertura de saneamiento aumenta al 85% (87% urbano y 81% rural) (OMS-UNICEF, 2015). La recuperación de costos de los servicios de saneamiento es muy limitada y hay un alto nivel de dependencia en las transferencias financieras de los gobiernos nacionales y locales.

Sólo el 8% de las aguas residuales recolectadas recibe algún tipo de tratamiento, debido al acelerado y desordenado crecimiento urbano y a la falta de una política eficaz de control de los contaminadores (Cabrera *et al.*, 2012). Debido a la contaminación, se estima que más del 70% del agua en las cuencas hidrográficas (localizadas por debajo de los 2 800 msnm) no es apta para consumo humano directo (Cabrera *et al.*, 2012). Se estima que más del 80% de las empresas industriales, agroindustriales, de comercio y servicios no depuran sus aguas residuales y las descargan directamente a las redes de alcantarillado público o directamente a los cauces fluviales (Jurado, 2005).

En las ciudades de Quito y Guayaquil, se han hecho estudios y diseños para sus plantas de tratamiento de aguas residuales, con las cuales los niveles de cobertura de tratamiento en estas dos ciudades llegarían en un futuro a porcentajes mayores al 80 % (Cabrera *et al.*, 2012). Por ejemplo, la ciudad de Quito, capital del Ecuador, recientemente inauguró la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Quitumbe para tratar un caudal aproximado de 100 l/seg, para una población de cerca de 75.000 habitantes de quince barrios del sur de la ciudad. A su vez, Guayaquil, la ciudad más poblada del Ecuador, empezó la construcción de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Las Esclusas, al sur de la ciudad, con un caudal aproximado de 3 m³/seg, para una población de cerca de 1 millón de habitantes, y acaba de concluir la construcción de un Humedal artificial de flujo vertical para tratar 239 l/seg para una población actual de cerca de 40.000 habitantes. Con estas dos obras de tratamiento, más unos Sistemas efectuados por inversionistas privados, la ciudad alcanzaría a fines del 2020 aproximadamente el 60 % de cobertura en tratamiento.

6.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

La mayor parte de las aguas residuales se vierten sin tratar a los ríos y lagos, cuyas aguas luego se usan frecuentemente para el riego agrícola. El impacto de este problema no está documentado. Por otro lado, el uso directo y planificado de aguas residuales tratadas en agricultura es tan solo testimonial. No existen en el país datos disponibles respecto a la reutilización de lodos fecales o no tratados (Cabrera *et al.*, 2012).

6.4 Políticas e instituciones

A pesar de que Ecuador cuenta con una Política Nacional de Agua y Saneamiento (Decreto Ejecutivo No. 2766 del 30 de julio de 2002³), dicha política no incluye la reutilización de aguas ni lodos

Las competencias sobre políticas de recursos hídricos están muy repartidas entre diferentes ministerios e instituciones, tales como el Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, el Ministerio de Salud Pública, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, los Gobiernos Autonómicos Descentralizados, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), el Fondo de Solidaridad, el Banco de Desarrollo (ex Banco del Estado), el Fondo de Inversión Social de Emergencia, las ocho Corporaciones Regionales de Desarrollo que se centran en el riego y los gobiernos provinciales y municipales). Esta situación dificulta la formulación de políticas coordinadas y coherentes sobre tratamiento y reutilización de aguas. Hay vacíos y duplicidades porque no existe una definición clara de los roles y responsabilidades de los diferentes actores nacionales y locales.

La SENAGUA ejerce la rectoría nacional en la gestión y administración del recurso agua (D.E. 1088, R.O. 346, 27-5-2008). La rectoría en la gestión ambiental le corresponde al Ministerio del Ambiente (LGA. Art.8), por lo que la SENAGUA coopera y coordina con este para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (CRE, Art. 412).

La Subsecretaría de Agua Potable, Saneamiento y Residuos Sólidos (SAPSyRS) del MIDUVI está legalmente investida con la facultad para establecer políticas sectoriales de saneamiento, pero no existe un ente autónomo regulador de los servicios de agua y saneamiento y no hay un ente con competencias específicas sobre la reutilización.

El Comité Interinstitucional de Agua y Saneamiento del Ecuador (CIASE) constituye un espacio de intercambio de experiencias en colaboración con el MIDUVI.

6.5 Investigación y desarrollo

Aunque existe una gran cantidad de proyectos y trabajos destinados a la recolección y tratamiento de aguas residuales, no se han encontrado investigaciones nacionales relevantes realizadas sobre reutilización de aguas residuales.

6.6 Capacidades necesarias

Los datos disponibles sobre aguas residuales y su uso en agricultura a nivel nacional son escasos y de calidad limitada. Se necesitan datos de calidad para realizar un diagnóstico, que permita planificar y preparar futuras políticas. También se hace patente una necesidad de mejorar las capacidades profesionales en materia de uso seguro de aguas residuales, ya que en Ecuador existe un número reducido de profesionales dedicados al saneamiento, y la actividad principal es el diseño de alcantarillado y tratamiento de aguas, más que la reutilización agrícola (Cabrera *et al.*, 2012). Por ello se considera clave la sensibilización sobre los riesgos y oportunidades del uso de aguas residuales, tanto de regantes, como de los responsables de políticas y de la sociedad en su conjunto.

7.3 <http://www.derechoecuador.com/productos/producto/catalogo/registros-oficiales/2002/julio/code/17587/registro-oficial-30-de-julio-del-2002#anchor270890>

7 EL SALVADOR

7.1 Disponibilidad y uso de agua

El Salvador está afectado por serios problemas de disponibilidad y uso del agua. Es uno de los países con menos recursos hídricos disponibles por habitante (Cuadro A.13) de toda la región de América Latina y el Caribe. Además, su régimen de lluvias es muy variable, tanto temporal como espacialmente. La desordenada utilización del recurso y el alto grado de contaminación y degradación ambiental agravan esta situación y determina que muchas zonas del país se encuentren al borde del estrés hídrico (SNET, 2005).

Cuadro A.13. Disponibilidad y usos de agua en El Salvador.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 784	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	26,27	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	4 288	m ³ / año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2005	1,431	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2005	0,474	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2005	0,213	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2012	45.23	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

7.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

Como se observa en el Cuadro.A14, en El Salvador se recolectaron 185 millones de m³ de aguas residuales municipales en 2010 (FOCARD-APS, 2013), de las que aproximadamente la mitad se produjeron en el área metropolitana del San Salvador. En 2013, la cobertura de acceso al alcantarillado sanitario era del 56% en zonas urbanas y de solo un 1% en zonas rurales (OMS-UNICEF JMP, 2015). Si se consideran otros sistemas de saneamiento en zonas rurales, el 6.12% de la población cuenta con fosas sépticas, y el 27.7% tiene acceso a letrinas (ONU-Agua, 2012). De los 262 municipios que conforman el país, sólo 81 cuentan con sistema de alcantarillado sanitario propiamente dicho, a veces en mal estado. Solo 11 municipios cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), además de otras 10 PTARs ubicadas en diversas urbanizaciones de la capital. De estas PTAR, un 53% utiliza una combinación de sedimentadores primarios, filtros biológicos y sedimentadores secundarios; un 23% posee una combinación de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) como tratamiento primario y filtros biológicos como tratamiento secundario, un 12% utiliza lodos activados y el 12% restante son lagunas de estabilización (Romero Deras, 2012).

En el área metropolitana de San Salvador el tratamiento de agua se lleva a cabo mediante plantas de tratamiento en complejos residenciales y sistemas particulares. Según FOCARD (2013) de los sistemas administrados por las municipalidades y algunos residenciales se tratan 16,4 millones de m³ año de 73,8 producidos, lo que equivale a un 22,2%. No se cuenta con un seguimiento sistemático que compruebe que los vertidos cumplan con las normativas de calidad establecidas (Quiñonez Basagoitia, 2015).

Cuadro A.14. Recolección y tratamiento de aguas residuales en El Salvador.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales recolectadas	2010	0,185	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2010	0,026	10 ⁹ m ³ /año
Número de instalaciones de tratamiento de agua residual municipal	2010	89	-

Fuente: FOCARD-APS (2013)

7.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

La pequeña cantidad de aguas residuales que se trata en El Salvador no se usa directamente en agricultura, ya que la mayor parte se vierten sin tratar en los ríos, de donde luego son captadas para abastecer diferentes sistemas de riego. Por lo tanto, el uso indirecto de agua residual no tratada es lo más común.

La superficie regada con aguas residuales diluidas no se conoce con precisión. Según un informe (MARN, 2012) donde se evaluaron 123 puntos de muestreo de agua, el 4% no cumplía con la aptitud de uso para riego, debido a los altos niveles de coliformes fecales. Además los, valores de conductividad llegaban hasta 1 319 uS/cm y algunas zonas mostraban niveles de sodio y sulfatos fuera de los límites establecidos por la norma del Decreto 51 del 16 de noviembre de 1987, que evalúa la aptitud del agua para riego.

7.4 Políticas e instituciones

El Salvador no cuenta con una Ley General de Aguas, en la que se establezca una autoridad rectora que regule y controle la situación de los vertidos y conciba una planificación general en cuanto a la descontaminación, que fomente de un enfoque de desarrollo sustentable y protección de los recursos (Quiñonez Basagoitia, 2015). Sin embargo, un anteproyecto de ley se encuentra actualmente en discusión en la Asamblea Legislativa. La nueva Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (MARN, 2013) contempla como una de sus líneas estratégicas el fomento de la reutilización de aguas residuales tratadas, aunque esta línea todavía está pendiente de articularse en detalle, pero es uno de los lineamientos prioritarios de la Administración Nacional De Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

Respecto a la implementación de directrices nacionales para el uso seguro de aguas residuales, sólo se cuenta con las disposiciones del Reglamento Especial de Aguas Residuales, que establece la clasificación de usos de aguas residuales tratadas y la frecuencia de muestreo de los parámetros DBO₅ y Coliformes Fecales, pero no establece los valores máximos permitidos.

7.5 Investigación y desarrollo

No hay información disponible sobre investigaciones recientes en reutilización de aguas residuales. A través del Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se han realizado algunas investigaciones relacionadas con la calidad de agua superficiales, y a través de la Gerencia de Cumplimiento del mismo Ministerio, se está realizando una investigación sobre la ubicación y estado actual de las plantas de tratamiento existentes en el país.

El Fondo de Inversión Social y Desarrollo Local (FISDL) y la organización española Alianza por el Agua (AxA) ha promovido relaciones de cooperación con el Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), en España. Se han realizado cursos de capacitación y enriquecimiento de manuales e instructivos para promover el saneamiento. Se trabaja con sistemas de tratamiento que incluyen reutilización de efluentes tratados en huertos, extensiones forestales y frutales (Quiñonez Basagoitia, 2015).

7.6 Capacidades necesarias

Se necesita una mejor valoración del alcance e impactos del uso indirecto de aguas residuales en agricultura y para ello se necesita evaluar las experiencias existentes. También se recomienda consolidar

proyectos demostrativos de tratamiento de aguas residuales y reutilización en la agricultura, a fin de mostrar los beneficios y la forma de mitigar los riesgos para la salud y medio ambiente. Las capacidades técnicas son débiles dentro de los Ministerios que deberían implementar una estrategia de reutilización segura. A nivel local no se cuenta con la infraestructura de tratamiento requerida ni con la capacidad técnica para la operación y mantenimiento adecuados de las plantas de tratamiento que existen. De momento no existe normativa que regule la reutilización y reciclaje de aguas residuales tratadas. Todos estos aspectos demandan de un fortalecimiento de capacidades que permitan revertir la situación.

8 HAITÍ

8.1 Disponibilidad y uso de agua

Como consecuencia de su paisaje montañoso, Haití sufre precipitaciones muy irregulares. Con 1 440 mm anuales (Cuadro A.15), este país padece una importante crisis hídrica, a lo que se debe sumar que el 50.6% de la superficie de Haití está destinada a la agricultura, siendo el sector que demanda más recursos hídricos. Las aguas de riego proceden en su mayoría de los cursos de ríos, salvo excepciones en pequeñas poblaciones, donde se explotan pozos de forma artesanal (ONU-Agua, 2012).

Cuadro A.15. Disponibilidad y usos de agua en Haití.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 440	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	14,03	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	1 310	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2009	1,209	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2009	0,19	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2009	0,051	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2009	97	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

8.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

Las redes de alcantarillado son prácticamente inexistentes salvo en la capital (Puerto Príncipe), aunque con una cobertura extremadamente baja. Los sistemas habituales de saneamiento son la fosa séptica y el pozo simple, aunque la defecación al aire libre es una práctica muy extendida. En 2015, el acceso por parte de la población a servicios de saneamiento mejorados era de tan sólo 34% en zonas urbanas y 19% en zonas rurales (OMS-UNICEF, 2015).

No existen plantas de tratamiento convencionales que ofrezcan un proceso completo con floculación, coagulación, filtrado y desinfección. Por tanto en la mayoría de los casos no existen tratamientos secundarios o terciarios. Las aguas residuales tan sólo se filtran y desinfectan con disoluciones de hipoclorito cálcico (ONU-Agua, 2012).

Si bien existen instituciones como el Observatorio Nacional del Medioambiente y la Dirección de Recursos en Agua, no existe acceso a datos históricos de producción y tratamiento de aguas residuales. Existe el proyecto para la creación del Instituto Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, en el que se confía se logre sistematizar la recolección de esta información.

8.3 Uso Y/O vertido de aguas residuales

El uso indirecto de aguas residuales en agricultura es la práctica más frecuente, ya que las aguas de riego se derivan frecuentemente de los ríos que reciben aguas residuales a los sistemas de canales de riego. La agricultura se desarrolla principalmente a pequeña escala y no está tecnificada, por lo que el uso de lodos de plantas de tratamiento, compostaje de residuos sólidos, etc. no son prácticas habituales (ONU-Agua, 2012).

8.4 Políticas e instituciones

No existe un marco regulador y normativo para el manejo de las aguas residuales, ni existe sistema de cánones en su uso en la agricultura. La institución que tiene la responsabilidad de este sector es el Ministerio de Agricultura, Medio Marino y Desarrollo Rural, sin embargo la carencia de instrumentos normativos y políticos hace que carezca de gobernanza.

La única institución que dispone de algún marco normativo, y es de muy reciente creación, es la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DINEPA), sin embargo igualmente existen carencias de normas de planificación hídrica, gestión de recursos naturales, planes de contingencia ante sequías o desastres (más allá que el de asistir a la población en urgencia). Desde la Reforma institucional que tuvo lugar en el país para la conformación de la DINEPA, esta es la institución responsable de captar y servir agua potable a la población y dar cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales.

8.5 Investigación y desarrollo

No existen proyectos directamente relacionados con la reutilización de las aguas residuales. Tan sólo se conocen proyectos puntuales relacionados con el monitoreo de caudales y avenidas en ríos por medio de piezómetros y lecturas automáticas, desarrollados por el Ministerio de Medioambiente y financiado por la AIEA y México. También existe un proyecto de monitoreo de la calidad de las aguas residuales vía sms (SISKLOR), llevado a cabo entre la DINEPA y el Ministerio de Salud.

8.6 Capacidades necesarias

No se han desarrollado marcos normativos de agua y saneamiento en décadas. La falta de un marco normativo y reglamentario impide incluso la implementación de la reforma de la DINEPA y la implementación de fondos de cooperación para inversión en infraestructuras procedentes del exterior. Además, las instituciones del Estado cuentan con poco personal cualificado y muy escasos recursos económicos que proceden en su mayoría del exterior. Sin embargo, actualmente existen importantes recursos ofrecidos por donantes para desarrollar infraestructura, pero están bloqueados por la escasa capacidad de gestionar grandes proyectos por parte de las instituciones del gobierno. La falta de datos de calidad de agua de riego impide conocer cuáles son los riesgos para la salud por el uso indirecto de aguas residuales y planificar en consecuencia.

9 HONDURAS

9.1 Disponibilidad y uso de agua

El potencial hídrico de Honduras es cuantioso. Los recursos hídricos renovables por persona y año (Cuadro A.16) están muy por encima del umbral de estrés hídrico (1 700 m³/hab/año) (White, 2012). Sin embargo en las últimas décadas la calidad y cantidad de recursos hídricos han disminuido considerablemente, como consecuencia del crecimiento poblacional que es uno de los más altos de Latinoamérica, de una migración masiva de la población rural hacia las áreas urbanas y de la insuficiente infraestructura de saneamiento y depuración.

Cuadro A.16. Disponibilidad y usos de agua en Honduras.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 976	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	92,16	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	11 413	m ³ /año/hab	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2006	1,28	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2005	0,34	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2005	0,49	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2009	89,7	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

9.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

La cobertura total de alcantarillado para la recolección de aguas residuales era del 54% (69% urbana y 38% rural) en 2012 (OMS-UNICEF JMP, 2015). En 2011, se recolectaba un volumen 153 millones de m³ año de los cuales 53 millones de m³ se trataban (34,7%) (FOCARD-APS, 2013).

Considerando sistemas de saneamiento mejorados (p.ej. alcantarillado o saneamiento in-situ, como fosas sépticas), el 83% de la población (87% en las ciudades y 78% en el medio rural) dispone de alguno de estos sistemas (OMS-UNICEF, 2015). Sin embargo, la infraestructura de saneamiento existente en el país está en general obsoleta y mal mantenida. Las letrinas en el área urbano-marginal no son sostenibles. Además, en la mayoría de los casos las aguas residuales no se tratan antes de su vertido, provocando una contaminación crítica de los cuerpos de agua receptores (FOCARD-APS, 2013).

Existe también un número limitado de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación (Suazo Suazo y Reyes Osorio, 2012). La mayoría de las plantas existentes están constituidas por lagunas de estabilización, con una eficacia variable (Oakley y Salguero, 2011; FAO, 2012) ya que muchas veces no son suficientes para el tamaño de las poblaciones que sirven o están sobrecargadas.

La mala planificación y uso del territorio urbano y periurbano favorece la vulnerabilidad frente a los desastres naturales, como sucedió en el caso del huracán Mitch que en 1998 destruyó el 65% de la red de aguas negras de la región metropolitana (Suazo Suazo y Reyes Osorio, 2012).

9.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

En Honduras, aproximadamente 400 000 hectáreas tienen el potencial de ser irrigadas y utilizadas para la agricultura (equivalente al 3.6% del territorio nacional) (Suazo Suazo y Reyes Osorio, 2012). En el año

2005, 81 630 hectáreas estaban bajo riego y se desconoce el porcentaje de esta superficie regada con aguas residuales diluidas (FAO, 2012).

Se están planteando proyectos que promueven la utilización directa de las aguas residuales tratadas para riego de cultivos con el objetivo de desarrollar y difundir un modelo eficiente y sostenible de uso del agua y el control de la contaminación municipal. Por ejemplo, en 2010 se puso en marcha en la colonia Nueva Suyapa un proyecto piloto de reutilización de aguas grises para agricultura periurbana, donde una pequeña comunidad obtiene el agua de consumo a través del agua de lluvia, y luego de ser usada, es tratada en filtros de arena para el riego de un jardín comunal (Figura A.1) (FAO, 2012).



Figura A.1. Filtro de aguas grises (izqda.) y huertos regados con aguas grises en Suyapa, Honduras (dcha.).

9.4 Políticas e instituciones

Con la ley general de aguas de 2009⁴ se crearon: el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), encargado de proponer la política hidráulica general; la Autoridad del Agua (AA), encargada de ejecutar las políticas; y el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH), como unidad técnica especializada con competencia para la elaboración de los planes hidrológicos nacionales. La Autoridad del Agua y las municipalidades son las instituciones competentes para autorizar los vertimientos y otorgar los derechos de aprovechamiento de agua, a través de permisos y licencias para pequeños regantes con menos de 10 ha, y a través de concesiones para regantes con más de 10 ha. El CNRH, la AA y el INRH están integrados por representantes de diferentes ministerios e instituciones.

El Consejo Nacional de Agua y Saneamiento (CONASA) es el ente encargado de formular y aprobar políticas específicas de saneamiento. La regulación es responsabilidad los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS). La prestación de servicios de saneamiento en muchos casos corresponde directamente a las municipalidades, sin embargo el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) está operando aproximadamente la mitad de los sistemas urbanos de alcantarillado sanitario, incluyendo la capital Tegucigalpa⁵. Las organizaciones comunitarias (Juntas Administradoras de Agua - JAAs) juegan un papel importante en la prestación del servicio en las zonas rurales y algunos barrios marginales urbanos. Todos los sistemas urbanos de agua son públicos, salvo en San Pedro Sula. Los gobiernos locales de Puerto Cortés y Choloma han creado empresas mixtas.

Honduras cuenta desde 2009 con el Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales, que asegura la adopción de criterios y prácticas racionales para la reutilización de las aguas residuales tratadas, evitando impactos en la salud humana, el suelo y las aguas subterráneas (Secretaría de recursos naturales y ambiente, 2009)

7.4 <http://www.conasa.hn/files/leyes/LEY%20GENERAL%20DE%20AGUAS.pdf>

7.5 Según la Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento aprobada en 2003, y su subsiguiente reforma del 2008 el SANAA tendrá que transferir la administración de sus sistemas a los municipios al 2013.

9.5 Investigación y desarrollo

La Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) es la Institución que más apoyo ha brindado a la investigación y capacitación en el Sector de Agua y Saneamiento (caracterización, tratamiento y descarga de aguas residuales, entre otros). En 2011, en convenio con Comisionado Nacional de los Derechos Humanos (CONADEH), la UPI inició un proyecto piloto de reutilización de aguas residuales tratadas de lagunas de estabilización en la ciudad de la Paz. Sin embargo, la investigación y desarrollo en materia de reutilización de aguas residuales es escasa.

9.6 Capacidades necesarias

La reutilización planificada de aguas en Honduras es incipiente con tan solo un proyecto piloto, por tanto se necesita concienciar a la población sobre las oportunidades de la reutilización segura y planificada, así como de los riesgos de la reutilización informal de aguas residuales sin tratar.

Se desconoce la superficie regada con aguas residuales diluidas, información que es necesaria para el diseño de políticas adecuadas de mitigación de riesgos. Se están haciendo esfuerzos para diseñar un Sistema de Información Sectorial Nacional Sostenible de agua y saneamiento (WSP, 2011), pero este sistema aun no considera los impactos de las aguas residuales luego de su vertimiento, incluyendo su uso en agricultura.

Hay programas de capacitación y extensión sobre higiene y salud; operación y mantenimiento de las PTAR; control y evaluación de la calidad de las aguas, pero no se han identificado programas sobre el uso seguro de aguas residuales.

Se hace necesaria una discusión interinstitucional para abordar posibles políticas y normas de reutilización segura y clarificar competencias y responsabilidades. Existe, por tanto, un gran interés en desarrollar una plataforma nacional que estudie específicamente la reutilización de las aguas residuales.

10 MÉXICO

10.1 Disponibilidad y uso de agua

México está afectado por un claro contraste temporal y espacial en la disponibilidad de agua y en muchas zonas la demanda ya supera a la oferta. El sur-este del país, rico en recursos hídricos, solo alberga el 23% de la población total y apenas tiene irrigación, mientras que el centro y norte del país es árido o semiárido y concentra las grandes demandas de agua del país (CONAGUA, 2011). Más del 25% de la superficie irrigada está localizada en los estados de Sinaloa y Sonora, ubicados en el norte del país (FAO, 2013). Una demanda de agua por encima de la tasa de renovación natural hace que hoy día el 16% de los acuíferos de México estén sobreexplotados (CONAGUA, 2015). Ya que el 77% del uso de agua es agrícola, se fomenta el intercambio de agua residual tratada por agua de primer uso (CONAGUA, 2012).

Cuadro A.17. Disponibilidad y usos de agua en México.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	758	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	461,9	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	3 637	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2011	61,58	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2011	11,44	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2011	7,28	10 ⁹ m ³ /año
Por fuente	Superficial	2011	49,49	10 ⁹ m ³ /año
	Subterránea	2011	29,99	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2009	6 460	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

10.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

Como se deduce del Cuadro A.18, en 2014 el 92.2% de las aguas residuales municipales fueron recolectadas por las redes de alcantarillado u otros sistemas. De esas aguas residuales recolectadas, sólo el 48.6% recibió tratamiento en una de las 2 337 PTAR existentes en ese año, lo que significa que se trataron el 43% del total de aguas residuales municipales producidas en el país. (CONAGUA, 2015). Entre los sistemas de tratamiento domina el de lodos activados (59.5%) seguido por lagunas de estabilización (12.5%), los primarios avanzado (3.9%), lagunas aireadas (6.5%), filtros biológicos (4.8%), dual (5.2%), y otros (7.6%). En términos de número de plantas de tratamiento la distribución es: lagunas de estabilización, seguido por el de lodos activados y el reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA (CONAGUA, 2015).

Cuadro A.18. Producción, recolección, tratamiento y uso de aguas residuales en México.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas*	2014	7,21	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales recolectadas*	2014	6,65	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas*	2014	3,51	10 ⁹ m ³ /año
Número de instalaciones de tratamiento de agua residual municipal*	2014	2 34	-
Capacidad de las instalaciones de tratamiento de agua residual municipal	2013	4,80	10 ⁹ m ³ /año
Uso directo de agua residual municipal tratada*	2011	0,80	10 ⁹ m ³ /año
Uso directo de agua residual municipal tratada en agricultura de regadío	2010	0,40	10 ⁹ m ³ /año
Uso directo de agua residual municipal no tratada en agricultura de regadío	2004	4,33	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: FAO (2016) y *CONAGUA (2015)

10.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

Se estima que en el año 2014 en México se reutilizaron directa o indirectamente 5 051 millones de m³ de aguas residuales, siendo la agricultura el mayor usuario de estas aguas (4123 millones de m³). El intercambio de aguas residuales tratadas, en el que se sustituye agua de primer uso, se estima en 281 millones de m³/año (CONAGUA 2015).

Se estima además que existen hasta 70 000 ha de superficie equipada para riego directo con agua residual municipal tratada, y entre 190 000 y 390 000 ha con aguas residuales sin tratar (Jiménez y Asano, 2008; FAO, 2013). El Valle del Mezquital es el caso más estudiado, ya que es la zona regada con agua residual más extensa del mundo, con más de 90 000 ha. En ese valle se usan aguas residuales crudas, mezcladas parcialmente con aguas pluviales y sometidas a sedimentación para regar forrajes, maíz, y algunas hortalizas. El transporte y la distribución de estas aguas en las parcelas agrícolas se realizan a través de una amplia red de canales y presas, usando un sistema de riego por gravedad, mediante surcos o melgas.

Se planea la introducción de sistemas de riego por goteo para optimizar el uso de agua. Los agricultores son reticentes al tratamiento del agua, ya que temen que al ser tratada, se destine a otros usos, aumentando las tarifas, y que ya no contenga la misma carga de nutrientes. La mayoría de los agricultores tienen además muy baja percepción del riesgo para la salud por la práctica de usar aguas residuales sin tratar (com. personal C. Paillés y C. Siebe).

Pese a la reticencia de los agricultores, se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco, con una capacidad de 35 m³/s es la más grande en América Latina. Las aguas tratadas seguirán siendo empleadas para el riego de cultivo.

10.4 Políticas e instituciones

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el órgano de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) encargada de la administración y preservación de las aguas nacionales. La ley marco para la gestión de los recursos hídricos es la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que establece la explotación, el uso y el aprovechamiento de las aguas nacionales a través de títulos de concesión o asignación otorgados por la CONAGUA. Las cuotas por vertimientos se establecen en la Ley Federal de Derechos (LFD) y se calculan en función del volumen de vertido y la carga de contaminantes (CONAGUA, 2011).

La Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 regula la calidad mínima del agua destinada para el riego agrícola, a través de los límites máximos permisibles para los parámetros físico-químicos y bacteriológicos establecidos. Igualmente indica que está prohibido el riego de hortalizas que se consumen crudas con aguas residuales sin tratar. Por otra parte los lodos de las PTAR se consideran un residuo de manejo especial y se regulan mediante la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Existe la Norma NOM-004- SEMARNAT-2002 que establece la calidad mínima para el uso de los lodos como abonos, aunque no hay regulaciones y directrices relacionadas con las dosis de aplicación o el manejo de los mismos.

Los programas de agua potable y saneamiento están a cargo de CONAGUA, pero también participan el Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales (PROSSAPyS) y el Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU) (CONAGUA, 2012).

CONAGUA cuenta con el Programa de Reúso e Intercambio de Agua Residual Tratada para promover la reutilización de aguas residuales y fomentar el manejo sustentable del recurso. Este programa forma parte del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. El gobierno propone fomentar la reutilización en actividades agrícolas, riego de áreas verdes, procesos industriales, etc. y el intercambio por agua de primer uso en el caso de actividades en las que esto es factible, como en la agricultura y en la industria. Otra acción consiste en que los si los organismos operadores de sistemas de agua para uso doméstico incluyen actividades de reutilización e intercambio de aguas residuales en sus acciones de construcción, ampliación, rehabilitación, proyectos y estudios, pueden beneficiarse de programas federales. Esto se tipifica en las Reglas de Operación para los programas de Infraestructura Hidro-agrícola y de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, aplicables a partir de 2012.

10.5 Investigación y desarrollo

En los últimos años destacan investigaciones realizadas en torno a la presencia y el comportamiento de contaminantes emergentes (p.ej. antiinflamatorios, antiepilépticos y antibióticos y otros potenciales disruptores endocrinos) en las aguas residuales usadas para riego agrícola en el Valle del Mezquital (Siemens *et al.*, 2008 y 2010; Gibson *et al.*, 2007 y 2010; Durán-Álvarez *et al.*, 2009 y 2012; Chávez *et al.*, 2011; Dalkmann *et al.*, 2012). También hay informes sobre la dispersión de organismos patógenos por el uso del agua residual (Mazari-Hiriart *et al.*, 2008; Landa-Cansigno *et al.*, 2013) y la diseminación de genes de resistencia a antibióticos (Dalkmann *et al.*, 2012, Broszat *et al.*, 2014). Hay investigaciones recientes sobre la presencia, movilidad y persistencia de pesticidas (Müller *et al.*, 2012), así como de la retención y eliminación de organismos patógenos por el suelo y el riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Chávez *et al.*, 2011). En el Distrito de Riego 03 de Tula se ha estudiado la evolución a largo plazo (100 años) de las parcelas regadas con aguas residuales, con resultados sobre el comportamiento del contenido de materia orgánica del suelo, valores pH, conductividad eléctrica; el comportamiento de macro y micro nutrientes en suelos y cultivos de alfalfa (Siebe y Fischer, 1996; Siebe, 1998, Friedel *et al.*, 2000); y el comportamiento de metales pesados en suelos, alfalfa y grano de maíz (Chapela-Lara, 2011; Cayetano Salazar, 2012). También se han realizado estudios sobre el balance de nitrógeno en parcelas regadas con agua residual cruda (Hernández *et al.*, 2016), así como monitoreos de emisiones de gases con efecto invernadero (CO₂, N₂O y CH₄) de alfalfa, rye grass y maíz en parcelas regadas con agua residual (González-Méndez *et al.*, 2015).

En cuestiones sobre tratamiento de aguas residuales se ha planteado un interesante debate que abarca desde el diseño de políticas públicas sectoriales hasta la coordinación de sus principales usuarios (Lugo, 2009; Cirelli, 2008; Pacheco-Vega, 2007; Pacheco-Vega & Basurto, 2008; Santacruz, 2008). También destaca un estudio sobre los costos y beneficios de reutilizar aguas residuales, que utilizó la ciudad de Durango como caso de estudio (Heinz *et al.*, 2011). Cabe destacar también un programa de PTARs piloto para reutilización agrícola en los estados de Oaxaca e Hidalgo, como parte del Programa PROSSAPyS. Este programa involucra a los beneficiarios, tanto del riego tecnificado como del tratamiento sanitario, que muchas veces son las mismas personas. Un total de 37 PTARs han sido implementadas bajo este esquema, existiendo más de veinte obras con diversos esquemas financieros (com. personal C. Paillés)

10.6 Capacidades necesarias

A continuación se proponen las siguientes necesidades de fortalecimiento de gestión, conocimiento y habilidades:

- Fortalecer la normatividad de las aguas residuales tratadas
- Fomentar la Inocuidad de los Alimentos. Reglas y criterios de manejo.
- Establecer estrategias de comunicación sobre riesgos por el uso de aguas residuales sin tratar.
- Efectuar la vigilancia del cumplimiento de la normatividad existente.

- Establecer mecanismos de vinculación entre organizaciones de usuarios, las diversas instancias operativas y de manejo del recurso y las instituciones de educación superior.
- Profundizar las investigaciones científicas sobre el uso de aguas residuales
- Necesidades de fortalecimiento de conocimientos y habilidades sobre:
- Técnicas y prácticas de muestreo de aguas de riego, cultivos y suelos e interpretación de resultados.
- Técnicas y prácticas de laboratorio para análisis de muestras de agua, cultivos y suelo.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Riegos agrícolas tecnificados para uso de aguas residuales tratadas. Diseño en campo, instalación, operación y mantenimiento.
- Manejo de cosechas y post cosechas para cultivos regados con aguas residuales tratadas.

11 PARAGUAY

11.1 Disponibilidad y uso de agua

El Paraguay es un país que dispone de una gran cantidad de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos (Cuadro A.19). Sin embargo, la distribución de las aguas no es homogénea, ya que mientras que en el sudeste la precipitación supera notablemente a la evapotranspiración y hay excedente hídrico, en el noroeste ocurre lo contrario. El consumo promedio de agua en zonas con acceso fluctúa entre 140 a 180 l/día/persona. En zonas donde el agua se distribuye con cisternas y se almacena en bidones u otros recipientes, el consumo disminuye hasta 60 ó 70 l/día/persona (Leguizamón Ovelar, 2012).

Cuadro A.19. Disponibilidad y usos de agua en Paraguay.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 130	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	387,8	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	58 412	m ³ / año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2012	1,897	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2011	0,362	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2008	0,154	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2012	136,2	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

11.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

La cobertura de alcantarillado para recolectar las aguas residuales era tan sólo del 10% en 2013 (OMS-UNICEF JMP, 2015), sin embargo información de 2015 indica que el 89% de la población tiene acceso a sistemas de saneamiento mejorado. En las zonas urbanas el acceso a saneamiento mejorado es elevado (95% de la población), aun cuando no todos son alcantarillados, mientras que en las zonas rurales alcanza al 78% de la población (OMS-UNICEF, 2015). En las zonas urbanas donde no hay alcantarillado se suelen utilizar letrinas y pozos ciegos.

En el año 2002, sólo el 8% de las aguas recolectadas eran tratadas antes de su disposición final en ríos y arroyos (FAO, 2015). En 2012 ya existían 9 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (FAO, 2015), siendo éstas lagunas de estabilización. Adicionalmente había 2 sistemas de lagunas en proceso de construcción.

Cabe mencionar el caso concreto de la ciudad de Encarnación, en donde los desechos residuales son tratados, y antes de ser vertidos al río Paraná, el agua recupera el 90% de su calidad. Este sistema de tratamiento cuenta con una capacidad máxima de 0.365 m³/s, a fin de ir acompañando el crecimiento vegetativo de las ciudades en el futuro (Leguizamón Ovelar, 2012). Los vertimientos en los cauces y arroyos que desembocan en los ríos Paraguay y Paraná se realizan mediante emisarios subacuáticos que llegan a la zona más profunda del río, mecanismo que permite minimizar el impacto negativo. Por otra parte están en proyecto dos plantas de tratamiento en las ciudades de Luque y Caacupé (Leguizamón Ovelar, 2012).

11.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

La superficie regada con aguas residuales diluidas (p.ej. reutilización indirecta) no se conoce y no se ha reportado el uso directo de aguas residuales tratadas o sin tratar para riego. La única experiencia documentada de reutilización de agua no es en riego, sino en la limpieza de calles: una planta láctea

ubicada en la región occidental (Chaco paraguayo) trata sus aguas residuales y, al no disponer de cauces naturales de agua donde descargarlas, las utiliza para regar las polvorientas calles de la ciudad de Loma Plata (Leguizamón Ovelar, 2012).

11.4 Políticas e instituciones

La Secretaria del Medio Ambiente es el ente responsable de la gestión de las aguas residuales, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social y el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. La institución encargada del control y análisis de las aguas residuales es el Ente Regulador de Servicios Sanitarios. Se hace necesario mejorar en gran medida la colaboración interinstitucional para la eficiente gestión de las aguas residuales, así como aumentar el presupuesto asignado a este sector. No existen en el momento programas o políticas del gobierno nacional o local dirigido a los agricultores que trabajan con aguas residuales (tratadas o no) en las zonas de riego agrícola.

11.5 Investigación y desarrollo

No se tiene constancia de la existencia de instituciones o universidades que ofrezcan estudios o lleven a cabo investigaciones en el campo de la gestión de aguas residuales para su utilización en el riego agrícola.

11.6 Capacidades necesarias

No se cuenta con registros sobre prácticas agrícolas con aguas residuales. También es evidente la necesidad de aumentar el tratamiento de un mayor caudal de agua residual producida. Existe interés por realizar experiencias piloto para el manejo sostenible de los efluentes de las PTAR, y el análisis económico de las actividades productivas de los agricultores involucrados. Además, estos proyectos deberían ir acompañados de la elaboración de políticas que contemplen el uso sostenible de los recursos hídricos, con el fin de permitir la reutilización en la agricultura (Leguizamón Ovelar, 2012).

12 PERÚ

12.1 Disponibilidad y uso de agua

En términos de recursos hídricos totales, el agua superficial disponible y los recursos hídricos renovables por persona y año a nivel nacional en el Perú es abundante (Cuadro A.20). Sin embargo existe una clara variabilidad temporal y espacial en la disponibilidad y usos del agua en las tres regiones geográficas de Perú, que se agrava con un crecimiento poblacional desigual. Así, la vertiente Pacífica alberga casi 19 millones de habitantes (63% de la población), aun cuando solo dispone del 1.8% de los recursos hídricos, mientras que la vertiente Atlántica (Amazonas) cuenta con unos 10 millones de habitantes (33% de la población) y dispone del 97.7% de los recursos hídricos. Por otro lado, la vertiente endorreica del lago Titicaca cuenta con un 4% de la población y un 0.3% del agua disponible (ANA, 2013).

Cuadro A.20. Disponibilidad y usos de agua en el Perú.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 738	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	1 880	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	59 916	m ³ / año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2008	12,12	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2008	1,254	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2008	0,289	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2012	2 580	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

12.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

En Perú, en 2015, 16 millones de habitantes tiene acceso a sistemas de alcantarillado y recolección de aguas residuales (SUNASS, 2015).

Recientes estudios indican que en el Perú se está produciendo alrededor de 42,5 m³/s de aguas residuales municipales y existen hasta 336 PTAR con capacidad de tratar 30,5 m³/s, con variaciones que van desde 95% de cobertura en la costa hasta solo 25 y 32% en la sierra y selva respectivamente. El 77% de las PTAR incluyen lagunas de estabilización, siendo 162 de ellas conformadas por lagunas primarias y secundarias, y 93 por solo lagunas primarias. 34 PTAR trabajan con lagunas anaerobias, seguidas por facultativas y de pulimento. Otras 17 plantas están aplicando la tecnología de lodos activados (Moscoso, 2016).

El Estado Peruano además ha concesionado el diseño, financiamiento, construcción, operación y mantenimiento de las PTAR Taboada y La Chira, que tratarán un caudal promedio de 14 m³/s y 6,3 m³/s respectivamente, proveniente de la ciudad de Lima. Serán las PTAR más grandes del país y contarán con un tratamiento preliminar avanzado y su vertido final al mar a través de un emisario submarino (iAgua, 2014; Bernex *et al.*, 2015)

Un problema común en Perú que afecta al rendimiento de las PTAR son los vertimientos informales de efluentes industriales a los sistemas de alcantarillado, que introducen cargas orgánicas elevadas y compuestos tóxicos que afectan negativamente a los procesos biológicos del tratamiento en las PTAR.

12.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), que es el ente competente y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, autorizó en 2012 la reutilización de aguas residuales tratadas por un volumen anual total equivalente a 30 309 102 m³ (ANA, 2012). Del caudal autorizado, 20 289 511 m³ (67%) corresponden a aguas residuales de origen doméstico y 10 019 591 m³ a las aguas residuales industriales (FAO, 2015). Las actividades que reutilizan las aguas residuales tratadas incluyen el regadío de cultivos (algodón, maíz, tara, algarrobo y remolacha), parques y jardines, y riego para reforestación (principalmente Eucalipto) (59.7%), control de polvo (22.6%), baldeo y control de polvo (14.5%), y finalmente actividades industriales (3.2%) (ANA, 2012).

Recientes estudios indican que se riegan 13 200 ha agrícolas con aguas residuales tratadas, 95% de ellas están ubicadas en la zona árida de la costa peruana. También se ha identificado que el 53% de los cultivos regados con aguas tratadas son forrajes (gramalote, alfalfa, pasto elefante y maíz chala), 15% de tuna para producción de cochinilla y 4% de algodón. La tara es un cultivo que ahora solo ocupa el 1% de la superficie regada, pero que muestra un crecimiento muy acelerado. Por último, se estima que las aguas residuales producidas actualmente en el país podrían llegar a irrigar 69 000 ha agrícolas ó 124 000 ha forestales (Moscoso, 2016).

12.4 Políticas e instituciones

En 2005 se aprobó el Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015, estableciendo como meta para el año 2015 tratar el 100% de los efluentes domésticos residuales generados, siendo el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) el ente legislativo responsable de este sector.

En 2010 se formularon los lineamientos de política para la promoción del tratamiento para la reutilización de las aguas residuales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas, a través de un comité multisectorial: Ministerios de Vivienda, Salud y Ambiente, la Autoridad Nacional del Agua y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (VIVIENDA, 2010).

En 2015 se ha realizado el proyecto “Desarrollo de las capacidades institucionales y técnicas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el uso seguro y productivo de las aguas residuales en la agricultura en las Guías OMS-FAO del 2006”. Bajo la supervisión de la FAO, la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales de la ANA ha realizado una revisión de la normatividad sobre el uso de las aguas residuales, ha elaborado un manual de buenas prácticas y ha capacitado a sus profesionales en este tema. Por último, se ha constituido una Mesa Temática sobre Uso de Aguas Residuales en Agricultura, conformada por 12 instituciones del Estado y los usuarios (Moscoso, 2016).

12.5 Investigación y desarrollo

Se han llevado a cabo diferentes estudios de diagnóstico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y de experiencias en reutilización de aguas realizados por instituciones tanto públicas como privadas (ONU-Agua, 2012). Entre ellos cabe destacar estudios como “Sistema de Aprovechamiento de las Aguas Residuales en el Fundo San Agustín, Callao – Perú” y “Sistema Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Sullana, Perú - Modelo Referencial”, ambos en 2002. Otro proyecto de investigación más reciente y de gran importancia es el estudio “Panorama de experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en Lima Metropolitana y el Callao”, desarrollado en 2007, con objeto de identificar y caracterizar las principales experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales para agricultura urbana y el reverdecimiento urbano en la Ciudad de Lima (Proyecto SWITCH, 2007; ONU-Agua, 2012).

En 2014 la Municipalidad Metropolitana de Lima elaboró el inventario de las áreas verdes y agrícolas e infraestructura ecológica de Lima y Callao, identificando mediante imágenes satélites 3 207 ha de áreas verdes públicas. Por otro lado, estimó que las áreas verdes privadas de uso colectivo cubren una superficie de 1 230 ha, y aun cuando solo equivalen al 38% del área verde de uso público, representan un aporte significativo para los beneficios sociales y ambientales que el verde urbano otorga a la ciudad. Por último, se sumó el verde privado de uso individual que podría superar las 4 000 ha. Una proyección al 2035 indicó que las áreas verdes públicas nuevas alcanzarían las 2 700 ha, que sumadas a las 2 715 ya existentes, ofrecerían a la ciudad 5 415 ha de espacios públicos verdes. También se estimó que Lima y Callao gastan casi US\$ 69 millones para regar sus áreas verdes usando muchas veces agua potable.

Si se sustituyen todas las fuentes actuales por solo agua residual tratada, este costo se podría reducir a US\$ 17 millones (25% del actual). Es por ello que el Servicio de Parques de Lima (SERPAR) elaboró el Plan de Riego Sostenible con Aguas Residuales Tratadas para Lima Metropolitana, a fin de evaluar si las PTAR existentes en Lima podían abastecer las áreas verdes actuales y proyectadas al 2035. Se definió que deberían añadirse otras 15 plantas para incrementar 2,7 veces el caudal de tratamiento de 2 230 a 6 020 l/s. Por último, este estudio identificó 57 lugares en los 43 distritos donde se podrían ubicar las nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales que se requieran para atender la demanda local (Moscoso, 2016).

Por último, en los años 2014 y 2015 la Organización Mundial de la Salud y la Dirección General de Salud Ambiental de Perú han desarrollado estudios de caso para validar el Manual de elaboración de Planes de Seguridad en Saneamiento (PSS) orientados al uso de las aguas residuales domésticas. Los casos desarrollados en Lima fueron: el Parque Huáscar y la zona agrícola de Este de Lima, ambos representativos de la reutilización directa e indirecta respectivamente (Moscoso, 2016).

12.6 Capacidades necesarias

La Autoridad Nacional del Agua establecía en 2012 una serie de necesidades para avanzar en el uso de las aguas residuales, orientada principalmente a la agricultura (ONU-Agua, 2012). La ANA indica que como parte del fortalecimiento de las capacidades del país en materia de aguas residuales, se requiere la capacitación de profesionales en tecnologías óptimas para el tratamiento y en la formulación de Instrumentos Normativos y Técnicos aplicados a la evaluación de sistemas de aguas residuales para la reutilización con fines agrícolas (Chung-Tong, 2012). Es de gran importancia fortalecer la cooperación con países de la región para el intercambio de información y experiencias en la materia.

También se requiere potenciar el tema de reutilización de aguas residuales en los planes de estudios de los colegios, mostrando a los niños el valor del agua residual y la recuperación de sus recursos, así como fomentando los programas de concienciación acerca del riesgo a la salud provocado por el agua residual sin tratar.

Se hace necesario impulsar y fortalecer las coordinaciones interinstitucionales involucradas en la reutilización de las aguas residuales tratadas, para ello se deberá trabajar en la formulación de la normatividad a aplicar y establecer lineamientos mejorados para los interesados en la reutilización. Se espera que la Mesa Temática de Uso de Aguas Residuales en Agricultura liderada por la ANA continúe desarrollando una agenda que permita lograr el fortalecimiento de la capacidad demandada.

13 REPÚBLICA DOMINICANA

13.1 Disponibilidad y uso de agua

La disponibilidad de recursos hídricos por persona en la República Dominicana es baja (Cuadro A.21) y se acerca al umbral de estrés hídrico de 1 700 m³/hab/año (Falkenmark, 1989), debido en parte a una alta densidad de población (206,6 habitantes/km²). Además, las precipitaciones se distribuyen de una manera muy heterogénea en el tiempo y en el espacio, con periodos y lugares donde el estrés hídrico es una realidad.

El problema de la disponibilidad de agua se agrava con un previsible aumento de la demanda, como resultado de un crecimiento poblacional de 1.7% al año y el deterioro de su calidad, como producto de una baja cobertura de saneamiento, la contaminación agrícola y la intrusión marina observada en los últimos años (FAO, 2013).

Cuando la disponibilidad de agua es baja, las fuentes no convencionales (como las aguas residuales) cobran gran importancia para el sector agrícola, especialmente en tiempo de estiaje cuando la demanda es mayor para todos los sectores.

Cuadro A.21. Disponibilidad y usos de agua en la República Dominicana.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 410	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	23,5	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	2 232	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2010	5,715	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2010	0,855	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2010	0,586	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2009	306,5	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

13.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

La cobertura de saneamiento mejorado (con alcantarillado e in situ) es del 84%, siendo de 86% en las zonas urbanas y 76% en las rurales (OMS-UNICEF, 2015). En las zonas rurales es común el uso de letrinas individuales (56% de los hogares), y aún se mantiene un 10% de los hogares que no dispone de ningún sistema para la eliminación de excretas (FOCARD-APS, 2013)

En todo el país se operan 91 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (INDRHI, 2012). Los sistemas de tratamiento más comunes son los reactores anaeróbicos, lagunas de aireación, lagunas facultativas y lagunas anaeróbicas (FAO, 2013).

Cabe mencionar que el Distrito Nacional y la Provincia Santo Domingo generan 1 169 152 m³/día de aguas residuales, de los que se recolectan solo el 9.6%. Estas aguas se tratan en 23 plantas depuradoras con una capacidad instalada total de 64 960 m³/día (CAASD, 2011). En algunos casos estas plantas cuentan con eliminación de patógenos por cloración. Debido al deterioro de las plantas, sólo 21 960 m³/día (2% del total generado) se tratan realmente. Los receptores de los efluentes de las plantas de tratamiento son los ríos Haina, Ozama e Isabela (afluente del Ozama), así como el acuífero subterráneo y la costa del Mar Caribe (CAASD, 2010-2015).

Cuadro A.22. Producción, recolección y tratamiento de aguas residuales en República Dominicana.

Variable	Año	Valor	Unidad
Aguas residuales municipales producidas	2011	0,427*	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales recolectadas	2011	0,041*	10 ⁹ m ³ /año
Aguas residuales municipales tratadas	2011	0,008*	10 ⁹ m ³ /año

Fuente: FAO (2016) *datos referentes solo al Distrito Nacional y provincial de Santo Domingo

13.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

La mayor parte de las aguas residuales municipales se vierten sin tratamiento a los cauces, cuyas aguas se contaminan y en ocasiones son reutilizadas aguas abajo. Existen 10 Distritos de Riego en la República Dominicana que abastecen una superficie de 301 537 ha (Pérez & Romero Montás, 2012). Sin embargo, se desconoce la proporción de esa superficie que usa aguas contaminadas y su grado de contaminación.

El uso directo de agua residual (tratada o no) para la producción de alimentos es limitado. Sólo se conocen dos casos en todo el país: La Altagracia (en la zona de Bávaro) y La Vega (Pérez & Romero Montás, 2012). En la ciudad de Concepción de La Vega (provincia de La Vega), la red de alcantarillado atiende al 90% de la población. Toda el agua recolectada se trata en un sistema de lagunas de estabilización, pero que opera con problemas de sobrecarga y de manejo. Esta agua tratada se reutiliza antes de llegar el cauce del río Pontón para el riego de arroz, maíz, tomate y yautía. También en el sector turístico se utilizan las aguas residuales tratadas para la irrigación de áreas verdes (FAO, 2016). En total de hectáreas que usan aguas residuales tratadas en la actualidad no se conoce con precisión per se estima que está bien por encima de las mil hectáreas

13.4 Políticas e instituciones

Existe fragmentación en la normativa y formulación de políticas para el área de agua y saneamiento. Las responsabilidades están compartidas entre el Ministerio de Economía, el Ministerio de Salud Pública y el Ministerio de Medio Ambiente. Hay una gran diferencia de inversión entre los sistemas de abastecimiento de agua y los de alcantarillado y tratamiento, teniendo además estos últimos problemas de mantenimiento y operación.

Los servicios de agua y saneamiento son proporcionados por empresas regionales en las grandes ciudades del país, por el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA) en ciudades más pequeñas y por las juntas comunales en las zonas rurales.

13.5 Investigación y desarrollo

No hay referencias de investigaciones recientes en torno a la reutilización de aguas residuales. No obstante, existe un estudio realizado por Leonardo Mercedes (2001) que abordó la situación del uso de las aguas residuales en la ciudad de Concepción de La Vega, así como su potencial para reutilización de las mismas.

13.6 Capacidades necesarias

Existen en el país áreas con escasez hídrica, por lo que el aumento de los recursos por el uso de las aguas residuales (tratadas) se propone como una alternativa a estudiar. Sin embargo, es poca la experiencia en el uso y manejo de las aguas residuales, no hay experiencias piloto que sirvan para mostrar los beneficios y mejorar la aceptación pública. No obstante se está trabajando para formar profesionales cualificados en el uso y gestión de las aguas residuales potencialmente reutilizadas para producir alimentos (Pérez & Romero Montás, 2012). Por otra parte se desconoce la superficie regada con aguas residuales diluidas (reutilización indirecta) y los riesgos asociados. Sin un diagnóstico previo es difícil diseñar medidas de mitigación de riesgos, por lo tanto se hace necesario documentar mejor la problemática. En general se hace evidente la necesidad de capacitar a técnicos y agricultores en el uso y manejo seguro del riego agrícola con aguas residuales.

14 SAN CRISTÓBAL Y NIEVES

14.1 Disponibilidad y uso de agua

Con una disponibilidad de recursos hídricos renovables de 432 m³/hab/año este país experimenta escasez hídrica absoluta (Cuadro A.23). Una de las principales restricciones para la producción agrícola es la falta de agua para irrigar en la época seca. En esta situación de escasez hídrica se agravará en un futuro próximo por la expansión del turismo que incrementará la demanda de agua (FAO, 2013). Las fuentes de agua dulce son la lluvia, manantiales, escorrentía superficial y el acuífero.

Cuadro A.23. Disponibilidad y usos de agua en San Cristóbal y Nieves.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 427	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	0,024	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	431.9	m ³ /año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2012	0,0002	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2012	0,0145	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2012	0	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2012	0,025	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

ND: Información no disponible

14.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

San Cristóbal y Nieves es un país federal formado por dos islas y con solo 55 000 habitantes pero con importantes incrementos estacionales por el turismo. Solo el Hotel St. Kitts Marriot generó y trató en 2011 un volumen de 272 735 m³ de aguas residuales (FAO, 2016).

En el año 2015, el 87.3% de la población disponía de sistemas de saneamiento mejorado (alcantarillado o in situ) (OMS-UNICEF, 2015), que principalmente consisten en taques sépticos, en donde las aguas residuales son vertidas a través de pozos de infiltración al suelo (FAO, 2013). La mayor parte del agua residual generada se vierte sin tratar (o sólo tras sedimentación primaria). El Hotel St. Kitts Marriot informa que el volumen mensual de aguas residuales tratadas es de 22 730 m³/mes (FAO, 2016). La única planta de tratamiento de agua residual existente atiende hospitales, el área de la bahía Fragata y los hoteles y complejos (tales como el Four Seasons y el Hotel Marriot). Las aguas residuales industriales son llevadas a través de un sistema de tratamiento y vertidas después al océano mediante desagüe (Champan *et al.*, 2012).

14.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

El único uso directo de aguas residuales tratadas se realiza en el Hotel San Cristóbal Marriott para irrigar su campo de golf. En 2011, la planta de tratamiento de aguas residuales del hotel generó 272 765 m³, de los cuales 236 370 m³ se usaron directamente una vez tratados para irrigar el campo de golf mediante riego por aspersión (FAO, 2016). Existen lugares comerciales donde se reciclan las aguas residuales en las cisternas de los aseos.

La agricultura es predominantemente de secano. Los agricultores tienen interés por el desarrollo de la irrigación para aumentar la productividad, sin embargo la escasez de agua limita su expansión. El

uso de agua no convencional (como las aguas residuales) se percibe como una opción potencial para incrementar la disponibilidad de agua. No obstante, los terrenos agrícolas se encuentran, en su mayoría, en zonas elevadas en donde transportar estas aguas sería un reto para los agricultores. En algunas ocasiones en donde los agricultores tienen acceso al agua de riego, no existe ningún registro, ya que se extrae agua del sistema sin permiso.

14.4 Políticas e instituciones

El Ministerio de Salud es responsable de la gestión de la calidad de las aguas. El Departamento de Salud Pública adopta las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en relación a la gestión de las aguas residuales (Chapman *et al.*, 2012). No obstante, no existe una estrategia de carácter nacional que gestione el agua residual generada.

14.5 Investigación y desarrollo

No existen registros de trabajos de investigación y desarrollo recientes en el tema de la reutilización de aguas residuales.

14.6 Capacidades necesarias

La expansión de los sistemas de irrigación necesita de recursos hídricos adicionales como las aguas residuales tratadas. Para decidir fomentar la reutilización de agua en agricultura, las autoridades locales y usuarios del agua (por ejemplo regantes) tienen que realizar un diagnóstico para establecer las características de los proyectos de reutilización de aguas que podrían implementarse, incluyendo la evaluación de los costos, beneficios, y viabilidad económica. Sin embargo, las capacidades técnicas y los recursos humanos son limitados en el Departamento de Salud Pública y en el Departamento de Agricultura. También se necesita conocimiento técnico sobre tratamientos apropiados de aguas residuales. La mayoría de los agricultores desconocen cómo hacer un uso seguro y productivo del agua residual para irrigación. La demostración mediante proyectos piloto ayudaría a incrementar la concienciación de los beneficios de una reutilización segura, aparte de entrenar y formar al personal (Chapman *et al.*, 2012).

15 URUGUAY

15.1 Disponibilidad y uso de agua

La República Oriental del Uruguay cuenta con una densa red hídrica superficial y subterránea en todo el territorio, con precipitaciones relativamente homogéneas durante todo el año (DINAMA- MVOTMA, 2009) que, junto con la relativamente baja densidad poblacional, hace que no haya problemas de escasez hídrica (Cuadro A.24).

El 92% de la población accede al agua de red de buena calidad. Sin embargo, el fuerte crecimiento del sector lechero y del volumen de sus efluentes incrementan también los riesgos de contaminación de los cursos de agua superficiales y subterráneas utilizados para el consumo humano y animal (DIEA, 2011).

Cuadro A.24. Disponibilidad y usos de agua en Uruguay.

Variable	Año	Valor	Unidad	
Recursos hídricos				
Precipitación anual promedio	2014	1 300	mm	
Recursos hídricos renovables totales	2014	172,2	10 ⁹ m ³ /año	
Recursos hídricos renovables por persona	2014	50 175	m ³ / año	
Extracción de agua				
Por sector	Agrícola	2000	3,17	10 ⁹ m ³ /año
	Municipal	2000	0,41	10 ⁹ m ³ /año
	Industrial	2000	0,08	10 ⁹ m ³ /año
Superficie equipada para riego	2011	238	1000 ha	

Fuente: FAO (2016)

15.2 Producción de aguas residuales y su tratamiento

El 96% de la población tiene acceso a un sistema de saneamiento mejorado, que incluye tanto alcantarillado como sistemas de recolección in-situ como fosas sépticas (OMS-UNICEF, 2015). En 2013, el 64% de los hogares en las ciudades contaban con cobertura de recolección de aguas residuales en alcantarillado (OMS-UNICEF JMP, 2015). Sin embargo, en cumplimiento del objetivo de la Ley 18840 de 2011, que obliga a construir redes de alcantarillado en todas las ciudades, se está incrementando rápidamente la extensión de estas redes.

El 78% de las aguas residuales municipales recolectadas recibe algún tipo de tratamiento y en las ciudades esta cifra alcanza el 81% (FAO, 2015). En 2014 se trataron 61 millones de m³ (OSE, 2014). El nivel de tratamiento aplicado en Uruguay se divide en 0.8% tratamiento primario, 98% tratamiento secundario y 1.2% tratamiento terciario (DINAGUA-MVOTMA, 2012).

Cabe destacar que la producción de efluentes del sector lechero presenta un crecimiento anual promedio de 5% en los últimos años (DIEA, 2011). Se estima que esta actividad genera 4 litros de efluentes por cada litro de leche producida (MGAP, 2008), por lo tanto, si en 2008 la producción fue de 1694 millones de litros de leche, esta generó unos 6 776 millones de litros de efluente (FAO, 2015). Los efluentes no tratados de este sector se reutilizan parcialmente para riego directo. La otra parte se trata en lagunas de estabilización y humedales artificiales (tratamiento primario y secundario) (MGAP, 2008; La Manna *et al.*, 2008; Casanova *et al.*, 2007; Casanova y del Pino, 2008; del Pino, 2008; González *et al.*, 2008 y Gutierrez & Cabrera, 2010).

15.3 Uso y/o vertido de aguas residuales

No existe información específica sobre la cantidad de aguas residuales (tratadas o sin tratar) que son reutilizadas directamente en la agricultura y otros usos, o que son vertidas a cuerpos de agua (De León & Delgado, 2012). Según González *et al.*, (2008), la experiencia de Uruguay en reutilización de aguas residuales como efluentes de tambo (p.ej. industria lechera), es escasa y en algunos casos con deficiencias. La tendencia actual de mejorar la gestión de los efluentes en tambos y predios agrícolas abre la posibilidad de alcanzar condiciones satisfactorias para la práctica de reutilización de aguas residuales. No obstante, en la actualidad dicha práctica no es frecuente y mucho menos, segura. Por otra parte, no existe la reglamentación ni los controles necesarios para asegurar buenas condiciones.

La amenaza de un mayor riesgo de contaminación ambiental por el crecimiento del sector lechero es tomada como una oportunidad para poder re-utilizar dichos nutrientes para cubrir, al menos parcialmente, las necesidades nutricionales de las pasturas de la rotación forrajera de los sistemas lecheros (De León & Delgado, 2012).

15.4 Políticas e instituciones

En 2009 se establecieron los principios rectores de la Política Nacional de Aguas, complementando así el Código de Aguas y la Ley de Riego con Destino Agrario.

Se está trabajando en la solución del tratamiento de los efluentes del sistema de producción, teniendo más relevancia el de la cadena láctea, debido a su creciente participación en el mercado internacional. Para ello las instituciones tanto públicas como privadas están colaborando y aunando esfuerzos para consolidar el manejo ambiental de los recursos y los residuos.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MGAP) promueve prácticas de manejo del agua, manejo del suelo con riego, el potencial de la aplicación de efluentes al suelo como forma de reciclado y aprovechamiento de nutrientes y del establecimiento de humedales artificiales para proteger los cursos de agua receptores de los efluentes (MGAP, 2008).

15.5 Investigación y desarrollo

Desde 1996 se han realizado una serie de estudios de la calidad de los lodos procedentes de diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. Se utilizaron estándares europeos (como el límite de metales pesados), frente a la ausencia de normativa nacional. Los resultados mostraron que es necesario un tratamiento de los lodos antes de su uso en agricultura, en vista de la persistencia de patógenos. También se han realizado otros estudios para determinar la productividad y sustentabilidad de los cultivos de forraje regados con efluentes de tambos (Mello *et al.*, 2011).

15.6 Capacidades necesarias

Se necesitan esfuerzos orientados a sensibilizar sobre los beneficios potenciales de la reutilización de las aguas residuales. Se requiere un desarrollo de las capacidades técnicas para la gestión de los residuos de la creciente actividad agroindustrial, enfocándose en los residuos producidos en las actividades agrícolas y ganaderas, para disminuir el costo ambiental (contaminante) que ahora representa su disposición sin tratamiento.

También se necesita analizar la viabilidad técnica y económica de otros tipos de uso para los efluentes, incluyendo la generación de energía. No existen experiencias demostrativas de reutilización segura de aguas residuales que pueden contribuir a generar confianza, generar capacidades locales y favorecer la replicación de la reutilización a escala (De León & Delgado, 2012).

16 FUENTES

1. ARGENTINA

- Álvarez, A., **Fasciolo, G., Barbazza, C., Lorenzo, F. y Balanza, M.E.** 2008. Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillo (Lavalle, Mendoza, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Universidad Nacional de Cuyo. Tomo XL, N°2. Pp. 61-81. Mendoza. Disponible en http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2720/alvarezagrarias2-08.pdf
- Dagnino Pastore, J.M., Adolfo Sturzenegger, A., Charreau, E.H., Vardé, O., Conrado Bauer, C. y Bereciartúa P.** 2012. El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina La cuestión del agua. *En Diagnostico del Agua de las Américas*. México, D.F.: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. FAO. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 31/07/2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
- Fasciolo, G., Meca, M., Gabriel, E., & Morbito, J.** 2002. Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. *Water Science & Technology*, 45(1), 133-138.
- GW (Global Water intelligence) 2012.** Global Water and wastewater quality regulations 2012. Global Water Intelligence. Oxford, United Kingdom
- INDEC** (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2012. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Censo del Bicentenario. Resultados definitivos. Serie B N°2. Tomo 1.* Buenos Aires, Argentina: INDEC. Disponible en: http://www.estadistica.sanluis.gov.ar/estadisticaWeb/Contenido/Pagina148/File/LIBRO/censo2010_tomo1.pdf
- Jiménez, B.** 2008. Water reuse overview for Latin America and Caribbean. Chapter 9. In: Jiménez, B., Asano, T. editors. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs.* IWA Publishing, London; 648 p.
- Lopardo, R.A., Bacchiega, J.D., Higa L.E.** 2015. Agua urbana en el continente americano, el caso de la República Argentina. *Desafíos del agua urbana en las Américas*. (pp. 26-51). Mexico
- OMS-UNICEF JMP.** 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities.* Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).
- Plevich, J. O., Delgado, A. R., Saroff, C., Tarico, J. C., Crespi, R. J., & Barotto, O. M.** 2012. El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(12), 1353-1358.
- Rebora, C., Lelio, H. & Gomez, L.** 2010. Use of urban waste water in rape (*Brassica napus* L.) production destined to biofuel. *Uso de aguas residuales urbanas en el riego de colza (Brassica napus L.) con destino a biocombustible*, 42, 207-212.
- Sartor, A., & Cifuentes, O.** 2012. Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. 18° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. AIDIS. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/aidis_ley_reuso_aguas.pdf
- Thebo AL, Drechsel P, Lambin EF and Nelson K L (2017).** A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*
- Vélez, O., Fasciolo, G., & Bertranou, A.** 2002. Domestic wastewater treatment in waste stabilization ponds for irrigation in Mendoza, Argentina: policies and challenges. *Water Science & Technology*, 45(1), 127-132.

2. BOLIVIA

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Sitio web AQUASTAT. Hoja informativa de Bolivia (Estado Plurinacional de). Accedido el 10/10/2016. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/BOL/indexesp.stm.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. FAO. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia) 2015. Estadísticas de medio ambiente 2004-2013. INE, Bolivia

Marka, L G. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Bolivia*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/BOLIVIA.pdf

Marka, L G. 2016. Reúso de aguas tratadas para riego agrícola en Bolivia (Bolivia)

En: Hettiarachchi H y Ardakanian R (Eds) Uso seguro de aguas residuales en agricultura: ejemplos de buenas prácticas. UNU-Flores. Alemania.

Martijn, E. J., & Redwood, M. 2005. Wastewater irrigation in developing countries—limitations for farmers to adopt appropriate practices. *Irrigation and Drainage*, 54(S1), S63-S70.

Ministerio del Agua. 2007. *Plan Nacional de Desarrollo de Riego... "Para vivir bien" 2007-2011*. Bolivia: Ministerio del Agua.

MMAYa (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2013. *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. MMAYa: Bolivia. Disponible en: <http://www.riegobolivia.org/publicaciones.html?page=1&parent=&contePage=1&contePage=2>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. *Ginebra: Organización Mundial de la Salud*

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

Zabalaga, J., Amy, G., & Von Münch, E. 2007. Evaluation of agricultural reuse practices and relevant guidelines for the Alba Rancho WWTP (primary and secondary facultative ponds) in Cochabamba, Bolivia. *Water Science & Technology*, 55.

3. BRASIL

Bastos, R. K. X., Bevilacqua, P., Silva, C. A. B., Dornelas, F. L., Assunçao, F. A. L., Rios, E. N., Silva, A. F. S., Freitas, A. S. & Costa, G. S. 2005. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, (Suplemento), p. 164-170.

Barroso, L. B. & Wolff, D. B. 2011. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v.8, n.3, p.225-236.

Clevelario, J., Neves, V., Oliveira, P. T. T. M., Costa, V. G., Amendola, P., Rocha, R. M., & Costa, J. J. G. 2005. Water Statistics in Brazil: An Overview. *IWG-Env, International Work Session on Water Statistics, Vienna*.

CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). 2005. Sitio Web. *Resoluciones*. Accedido el 07/05/2014 Disponible en: http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Accedido el 31-07-2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

Galizia Tundisi, J., Morelli Tucci, C.E., Rosado Spilki, F., Hespanhol, I., Almir Cirilo, J., Cortesão Barnsley Scheuenstuhl, M. y Andricioli Periotto, N. 2015. Aguas Urbanas en Brasil en *Desafíos del agua urbana en las Americas*. (pp. 86-115). Mexico: Ianas.

Garcia, G. D. O., Rigo, M. M., Cecílio, R. A., Dos Reis, E. F., Bauer, M. D. O. & Rangel, O. J. P. 2012. Chemical properties of a soil cultivated with two forage crops fertigated with treated domestic sewage. *Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado*, 7, 737-742.

GW (Global Water intelligence) 2012. Global Water and wastewater quality regulations 2012. Global Water Intelligence. Oxford, United Kingdom

Governo do Estado de São Paulo. 2012. [Online]. *Maior projeto de água de reúso do Brasil, Aquapolo ganha prêmio de sustentabilidade*. Accedido el 07/05/2014 Disponible en: http://www.saopaulo.sp.gov.br/sponoticias/salaimprensa/home/imprensa_lentocia.php?id=224786

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2008. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais*,

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2011. *Atlas de Saneamento 2011*. Disponible en:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm

Jiménez, B. and T. Asano. 2008. *Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs*. Londres: IWA Publishing.

Portal Brasil. 2013. Sitio Web. Governo federal aprova Plano Nacional de Saneamento Básico. Accedido el 05/07/2014.

Disponible en: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2013/12/governo-federal-aprova-plano-nacional-de-saneamento-basico>

PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico). 2006. *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Coordenada pela Profa. Maria de Lourdes Florêncio dos Santos do Grupo de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco.

Rego, J. de L., Oliveira, E. L. L. de, Chaves, A. F., Araujo, A. P. B., Bezerra, F. M. L., Santos, A. B. dos, Mota, S. 2005. Uso do esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.9, (suplemento), p.155-159,

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). 2014. *Diagnostico dos Serviços de Agua e Esgotos – 2014*. Brasil: SNIS.

Urbano, V. R., Mendonça, T. G., Varallo, A. C. T., Bastos, R. G. & Souza, C. F. 2013. *Use of treated wastewater for lettuce cultivation*. ASABE Annual International Meeting, Conference paper. 3126-3141

4. CHILE

Astaburuaga, G. 2004. El agua en las zonas áridas de Chile. *ARQ (Santiago)*, (57), 68-73

Cáceres, V. L., Gruttner, D. E., & Contreras, N. R. 1992. Water recycling in arid regions: Chilean case. *Ambio*, 138-144.

DGA (Dirección General de Aguas) , Banco Mundial. 2011. *Diagnostico Gestión de Recursos Hídricos en Chile*. Chile: DGA.

ECONSSA (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.) Chile. 2013. *Sistema de Disposición Final de las Aguas Servidas de Antofagasta. Informe Final*. Accedido el 11/16/2016. Disponible en http://www.econssachile.cl/pdf/estudios/GHD_WEB.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 31/07/2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2014. *Informe Anual de Coberturas Urbanas de Servicios Sanitarios*. Chile: SISS.

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2016. *Informe de gestión del sector sanitario 2015* Chile: SISS. Disponible en http://www.siss.gob.cl/577/articles-16141_recurso_1.pdf

Marambio, C., & Ortega, R. 2003. Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. *Revista Agronomía y Forestal UC*, 20, 20-23

Navarrete, P., & Vilches, R. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Chile*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/CHILE.pdf

5. COLOMBIA

Echeverri, A. F., Madera, Carlos A.; Urrutia, N. 2012. Comparación de la calidad agronómica del efluente de la PTAR-c y el agua subterránea con fines de uso en riego de caña de azúcar. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente: Universidad del Valle*, 11: 21-27

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. FAO. Consultado el 31/07/2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

García, J. A., Paredes, D., & Cubillos, J. A. 2013. Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*, 58, 57-62.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2008. *IDEAM, Estudio Nacional del Agua*. Colombia

Lopera, M. J., Campos, S. M., & Olarte, B. C. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Colombia. Informe Nacional*. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/COLOMBIA.pdf

Madera, C. A., Silva, J., Mara, D. D., & Torres, P. 2009. Wastewater use in agriculture: Irrigation of sugar cane with effluents from the Cañaveralejo wastewater treatment plant in Cali, Colombia. *Environmental technology*, 30 (10), 1011-1015.

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

Osorio, J. A. 2006. *Estrategia de evaluación de usos conjuntivos del agua, incluyendo reuso para contribuir con la seguridad alimentaria de distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, Colombia*. Trabajo de grado para la obtención del título Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali.

PMAR (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2004. *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales*. Colombia Disponible en: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf

Silva, J., Torres, P., Madera, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26 (2): 347-359

Superservicios (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios). 2013. *Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. Bogotá, Colombia: Superservicios.

Valencia, Eduardo, Romero, Jonathan, Aragón, Renso A. 2010. Esquema metodológico para la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en riego. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente: Universidad del Valle*, 9: 55-59.

6. ECUADOR

Cabrera, H., Garcés, M., & Paredes P. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador. Informe Nacional*. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/ECUADOR_produccion%20de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2012. *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador*. CEPAL. Disponible en: <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIC%202012-2.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. FAO. Consultado el 31/07/2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

Jurado, J. 2005. Documento *Diagnóstico sobre estado de situación del Recurso Hídrico*. Quito: SENAGUA. Documento no publicado.

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la Salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua). 2012. *Política Pública Nacional del Agua*. Ecuador: SENAGUA

7. EL SALVADOR

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT.. Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

FOCARD-APS (Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento). 2013. *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales, Situación actual y perspectivas, El Salvador*. FOCARD-APS.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Informe de Calidad de Agua de los ríos de El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General del Observatorio Ambiental. Gerencia de Hidrología. Marzo 2012. Disponible en: http://www.marn.gob.sv/phocadownload/Informe_Calidad_de_Agua%202011.pdf

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental. El Salvador. Disponible en: http://www.marn.gob.sv/descarga/documentos/ENSA_separata.pdf

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

Quiñonez Basagoitia, J.C. 2015. Perspectiva de las aguas urbanas en El Salvador en Brasil en *Desafíos del agua urbana en las Américas*. (pp. 256- 297). México: Ianas.

Romero Deras, M. A. 2012. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en El Salvador. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/EL_SALVADOR.pdf

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico. El Salvador. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>

ONU-Agua. 2012. 4th Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture (Lima, 2012). Country reports: El Salvador. Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/Session2a_ElSalvador_Sp.pdf

8. HAITÍ

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

ONU-Agua. 2012. 4th Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture. Country reports: Haiti. Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/Session2d_Haiti_Sp.pdf

9. HONDURAS

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. *La agricultura urbana y su contribución a la seguridad alimentaria. Sistematización del Proyecto Piloto AUP en Honduras*.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. FAO. Consultado el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

FOCARD-APS (Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento). 2013. *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales, Situación actual y perspectivas, Honduras* FOCARD-APS

Oakley S. y Salguero L. (eds). 2011. *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica*. Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad. Acuerdo de cooperación USAID-CCAD. Disponible en: <http://www.drh.go.cr/textos/documentos/ca.final.06.06.11.pdf>

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la Salud) UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

Secretaría de recursos naturales y ambiente. 2009. *Honduras cuenta con nueva normativa ambiental*. Honduras

Suazo Suazo, G. & Reyes Osorio J. N. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Honduras*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/HONDURAS.pdf

White C. 2012. Understanding water scarcity: Definitions and measurements. Disponible en: http://www.iwmi.cgiar.org/news_room/pdf/Understanding_water_scarcity.pdf.

WSP (Water and sanitation Program). 2011. *Diagnóstico y propuesta para el desarrollo para sistema eficiente y sostenible*. Sistema de información de aguas y saneamiento en Honduras. Disponible en: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/01/09/000310607_20080109140046/Rendered/PDF/42017optmzd0JMOSIS1AguasSan01PUBLIC1.pdf

10. MÉXICO

Broszat M, Nacke H, Blasi R, Siebe C, Hübner J, Daniel R & Grohmann E. 2014. 16S rDNA metagenomics and resistance gene pool of bacterial communities from wastewater-irrigation fields in the Mezquital Valley, Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 80 (17): 5282-5291.

Cayetano-Salazar, M. 2012. Transferencia suelo-planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el Valle del Mezquital. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. Disponible en: www.geologia.unam.mx

Chapela-Lara, M. 2011. Variación temporal en el contenido de metales pesados regados con aguas residuales. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. Disponible en: www.geologia.unam.mx

Chávez A, Maya C, Gibson R, Jiménez B. 2011. The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico. *Environmental Pollution* 159: 1354-1362.

Cirelli, C. 2008. La gestión del servicio público de agua potable en Francia: ¿un modelo a debate o en crisis? En Peña, F. (Coord.), *Boletín del archivo histórico del agua* (pp. 64-72). México: CONAGUA.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. *Estadísticas del agua en México*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: www.conagua.gob.mx

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. *Situación del Sector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. *Estadísticas del Agua en México Edición 2015*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Dalkmann P, Broszat M, Siebe C, Willashek E, Sakinic T, Huebener J, Amelung W, Grohmann E, Siemens, J.** 2012. Accumulation of Pharmaceuticals, *Enterococcus*, and Resistance Genes in Soils Irrigated with Wastewater for Zero to 100 Years in Central Mexico. *PLoS ONE* 7(9): e45397. doi:10.1371/journal.pone.0045397
- Durán-Álvarez JC, Becerril-Bravo E, Castro VS, Jiménez B, Gibson R.** 2009 The analysis of a group of acidic pharmaceuticals, carbamazepine, and potential endocrine disrupting compounds in wastewater irrigated soils by gas chromatography-mass spectrometry. *Talanta* 78: 1159-1166.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Sitio web AQUASTAT. Hoja informativa de Mexico Accedido el 10/10/2016. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MEX/indexesp.stm
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
- Friedel J, Langer T, Siebe C, & Stahr K.** 2000. Effects of long-term wastewater irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and activities in Central Mexico, *Biology and Fertility of Soils*, 31:414-421.
- Gibson R, Becerril-Bravo E, Silva-Castro V, Jiménez B.** 2007. Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine, disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1169: 31-39.
- Gibson R, Durán-Álvarez JC, Estrada KL, Chávez A, Jiménez Cisneros B.** 2010. Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley, Mexico. *Chemosphere* 81: 1437-1445.
- González-Méndez B, Webster R, Fiedler S, Loza-Reyes E, Hernández JM, Ruíz-Suárez, LG, Siebe C.** 2015. Emissions of greenhouse gases from cropland irrigated with waste water: a case study in the Mezquital Valley of Mexico. *Atmospheric Environment*, 101:116-124.
- Heinz, I., Salgot, M., & Mateo-Sagasta Dávila, J.** 2011. Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers. *Water International*, 36(4), 455-466.
- Hernández JL, Prado B, Cayetano M, Bischoff W, & Siebe C.** 2016. Ammonium-nitrate dynamics in the critical zone during single irrigation events with untreated sewage effluents. *J. Soil Sediments*. DOI: 10.1007/s11368-016-1506-2
- Jiménez, B. and T. Asano.** 2008. *Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs*. Londres: IWA Publishing.
- Landa-Cansigno, O., Durán-Álvarez, J. C. & Jiménez-Cisneros, B.** 2013. Retention of *Escherichia coli*, *Giardia lamblia* cysts and *Ascaris lumbricoides* eggs in agricultural soils irrigated by untreated wastewater. *Journal of Environmental Management*, 128, 22-29.
- Lugo, M.** 2009. El uso de aguas residuales en la agricultura en México, *Revista Ambiente y Desarrollo*, Bogotá (Colombia), Volumen XIII No. 24, enero-junio de 2009
- Mazari-Hiriart, M., Ponce-de-León, S., López-Vidal, Y., Islas-Macías, P., Amieva-Fernández, R., & Quiñones-Falconi, F.** 2008. Microbiological Implications of Periurban Agriculture and Water Reuse in Mexico City. *PLoS ONE*, 3(5), e2305.
- Müller, K., C. Duwig, B. Prado, C. Siebe, C. Hidalgo and J. Etchevers.** 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on sorption and transport of atrazine in Mexican agricultural soils, *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Waste*, 47:1, 30-41.
- Pacheco-Vega, R.** 2007. Participación de la comisión nacional del agua en el tratamiento de aguas residuales en la cuenca Lerma-Chapala. *Estadísticas federales y realidades estatales. Región y Sociedad*, 19(39), 55-76.
- Pacheco-Vega, R. & Basurto, F.** 2008. Instituciones en el saneamiento de aguas residuales: reglas formales e informales en el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. *Revista Mexicana de Sociología*, 70(1), 87-109.
- Santacruz, G.** 2008. Generación y tratamiento de agua residual en la zona metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí. En F. Peña (Coord.), *Boletín del archivo histórico del agua (Nº 40, pp. 33-37)*. México: CONAGUA.
- Siebe C. 1994.** Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10, pp. 15-21.
- Siebe C. & Fischer WR.** 1996. Effect of long-term irrigation with untreated sewage effluents on soil properties and heavy metal adsorption of leptosols and vertisols in Central Mexico. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 159, 357 - 364.
- Siebe, C. 1998.** Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. *Soil Use and Management*, 13, 1- 5.

Siemens, J., G. Huschek, C. Siebe and M. Kaupenjohann. 2008. Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico-City-Mezquital Valley. *Water Research*, 42:2124-2134.

Siemens, J., G. Huschek, G. Walshe, C. Siebe, R. Kasteel, S. Wulf, J. Clemens, and M. Kaupenjohann. 2010. Transport of pharmaceuticals in columns of a wastewater-irrigated Mexican clay soil. *Journal of Environmental Quality*, 39:1-10.

11. PARAGUAY

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Sitio web AQUASTAT. Hoja informativa de Paraguay. Accedido el 10/10/2016. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/PRY/indexesp.stm

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. AQUASTAT database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) [Online]. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

Leguizamón Ovelar, L. 2012. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Paraguay. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/PARAGUAY_producci%C3%B3n%20de%20aguas%20servidas%20tratamiento%20y%20uso.pdf

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

12. PERÚ

ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2012. *Registro administrativo de autorizaciones de vertimientos y reúsos (consulta: 20.11.2012)*.

ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2013. *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú*. Perú.

Bernex Weiss, N., Carlotto Caillaux, V., Cabezas Sánchez C., Shady Solís, R., Roca Alcázar, F. Durand M., Ismodes Cascón, E y Kuroiwa Zevallos J. 2015. El Agua Urbana en el Perú. *Desafíos del agua urbana en las Americas*. (pp. 492-521). Mexico

Chung-Tong, B. 2012. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Perú. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID).

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Sitio web AQUASTAT. Hoja informativa de Perú. Accedido el 10/10/2016. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/PER/indexesp.stm

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

Moscoso, J. 2016. *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

iAgua Perú. 2014. Accedido el 2014/05/28 Disponible en: <http://peru.iagua.es/noticias/peru/14/04/21/las-obras-de-la-ptar-de-la-chira-en-lima-se-encuentran-un-54-de-su-ejecucion-48564>

Proyecto SWITCH. 2007. *Experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en la ciudad de Lima*. Disponible en: <http://bvs.per.paho.org/texcom/cd048365/panorama.pdf>

SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). 2015. *Diagnostico de las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales en el Ambito de Operacion de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*. Peru: SUNASS.

ONU-Agua. 2012. *4th Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture* (Lima, 2012). Country reports: Perú. Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/Session2b_Peru_Sp.pdf

VIVIENDA (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). 2010. Oficina del Medio Ambiente (R.M. N° 176-2010 – VIVIENDA). Peru. Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/ambiente/AnexosPDF/Normativa/Lineamientos%20de%20pol%C3%ADtica%20Reuso%20de%20Aguas%20Servidas.pdf>

13. REPÚBLICA DOMINICANA

CAASD (Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo). 2011. *Memoria CAASD*. Republica Dominicana. Disponible en: <http://www.caasd.gov.do/media/46968/Memoria%20Anual%202011.pdf>

CAASD (Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo). 2010-2015. *Plan Estratégico Institucional 2010-2015*. Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en: <http://www.caasd.gov.do/media/SyncCMSMedia/37009/plan-estrategico-2010-2015.pdf>

Falkenmark, M., J. Lundquist and C. Widstrand. 1989. Macro-scale Water Scarcity Requires Micro-scale Approaches: Aspects of Vulnerability in Semi-arid Development. *Natural Resources Forum*, Vol. 13, No. 4, pp. 258–267.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Sitio web AQUASTAT. (Hoja informativa de la República Dominicana). Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/DOM/indexesp.stm

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

FOCARD-APS (Foro centroamericano y Republica Dominicana de agua potable y saneamiento). 2013. Gestión de las Excretas y Aguas Residuales, Situación actual y perspectivas. República Dominicana.

INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos). (2012). *Plan Hidrológico Nacional*. Editora Alfa & Omega, Agosto 2012. Santo Domingo, República Dominicana.

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf).

Pérez, A. L., & Romero Montás, L. A. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en la República Dominicana*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/REP%C3%91BLICA%20DOMINICANA_producci%C3%B3n%20de%20aguas%20servidas%2C%20tratamiento%20y%20uso.pdf

14. SAN CRISTÓBAL Y NIEVES

Chapman, I., Paul, D., Moise, G., & Riley, A. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en St. Kitts*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura. (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/ST_KITTS.pdf

FAO. 2013. Sitio web AQUASTATCountry profile Saint Kitts and Nevis. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/KNA/index.stm

FAO. 2016. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf)

15. URUGUAY

Casanova, O., Durán A., Mello, R y del Pino, A. 2007. Manejo de efluentes de tambo. Revista *Cangüé*, EEMAC, Paysandú, Uruguay Nº 29 pp 94-96

Casanova, O y del Pino A. 2008. *Anexo 2- Estiércol en la producción lechera 2008*. pp 181-189. En: Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. Eds. Dinama, Conaprole, Fundación J. Ricaldoni, Imfia. Montevideo.

De León, L., & Delgado S. 2012. *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Uruguay*. Informe Nacional. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, OMS, ONU-AGUA, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID). Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/144/URUGUAY_wastewater%20production%20treatment%20and%20use.pdf

Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., Perdomo, C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26:43-52

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2011. *Anuario Estadístico Agropecuario 2011*. Versión digital.

DINAGUA-MVOTMA (Dirección Nacional de Aguas-Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente). 2012. *Sistemas de saneamiento en Uruguay. Informe interno del Área de Agua Potable y Saneamiento*. DINAGUA-MVOTMA

DINAMA-MVOTMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente-Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente). 2009. *Informe Nacional de Estado del Ambiente. Montevideo, Uruguay*. Disponible en <http://www.mvotma.gub.uy/index.php/estado-del-ambiente/item/10003812> Consultado el 12/11/2012

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Sitio web AQUASTAT. Hoja informativa de Uruguay. Accedido el 10/10/2016. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/URY/indexesp.stm

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Sitio web AQUASTAT. Accedido el 2016/07/31. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

González, A.; Rezzano Tizze, N.; Indarte Bonifacino, E. 2008. *Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros*. Diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes. Convenio CONAPROLE-IMFIA-DINAMA-MVOTMA. Montevideo, Uruguay.

Gutiérrez, S.; Cabrera, N. 2010. *Estimación de los parámetros nacionales y básicos para el manejo de efluentes de tambos. Parte 1: caracterización de la descarga*. Ingeniería Química. Montevideo; ISSN: 07974930.

La Manna, A. & Malcuori, E. 2008. Anexo 6. Matrices de riesgo aplicadas a establecimientos lecheros. Guía de gestión de aguas en establecimientos lecheros. Diseño, operación, mantenimiento de sistemas de tratamientos de efluentes. P.: 213-215, DINAMA, CONAPROLE, IMFIA

Mello, R., Álvarez, J., García, M., Casanova, O., Del Pino, A., & Zanoniani, R. 2011. *Productividad y sustentabilidad de una rotación forrajera intensiva bajo pastoreo, con incorporación de riego estratégico y nutriente de efluentes de tambos*.

MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2008. *Manual para el manejo de Efluentes de Tambo. Primera Edición. 128p.*

OMS-UNICEF. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. OMS (Organización Mundial de la salud UNICEF. (disponible en: http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Progress-on-Sanitation-and-Drinking-Water_234.pdf)

OMS-UNICEF JMP. 2015. *Estimates on the use of water sources and sanitation facilities*. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (disponible en: [http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller\[type\]=country_files](http://www.wssinfo.org/documents/?tx_displaycontroller[type]=country_files)).

OSE (Obras Sanitarias del Estado). 2014. *Logros y desafíos en el tratamiento del agua Recurso Estratégico del País*. Uruguay: OSE.

Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe

Estado, principios y necesidades

Este informe ha incorporado información actualizada de cientos de fuentes y ha contado con la participación de un gran número de expertos nacionales e internacionales de diferentes disciplinas, con el objetivo de: (i) proporcionar la mejor información disponible sobre el estado de la reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe, (ii) mostrar como maximizar las oportunidades y mitigar los riesgos de la reutilización y (iii) evaluar las capacidades que se necesitaría desarrollar en la región para una reutilización más segura y productiva.

El informe está dirigido a una audiencia amplia, incluyendo organizaciones internacionales de desarrollo, gobiernos, sociedad civil, profesionales, estudiantes y medios de comunicación. Esta amplia audiencia podrá conocer mejor el estado de la reutilización de aguas en América Latina y el Caribe, identificar ejemplos exitosos en la región y promover la reutilización segura y productiva de una manera más informada.



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems



ISBN 978-92-5-309906-1



9 789253 099061

I7748ES/1/12.17