



Tratamiento de aguas residuales para su reutilización

Mayo 2008



Publisher/Marketing:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
German Association for Water, Wastewater and Waste
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Germany
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de

La Asociación alemana de aguas, aguas residuales y residuos (German Association for Water, Wastewater and Waste, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA) se preocupa intensamente del desarrollo confiable y sostenible de la gestión de aguas (water management). Es una organización política y económicamente independiente, que opera en forma específica en las áreas de gestión del agua, aguas residuales, residuos y protección del suelo.

La DWA es, dentro de Europa, la asociación que cuenta, en su campo, con el mayor número de miembros y, debido a su competencia especializada tiene una posición destacada en lo referente a la normalización, formación profesional e información al público. Sus miembros comprenden a alrededor de 14.000 especialistas y directivos dentro de municipios, universidades, son ingenieros consultores en autoridades y empresas.

Impresum

Publicación y marketing:

DWA German Association for
Water, Wastewater and Waste
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Germany
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Traducción:

Dr. jur. Marta Raap, Bonn
Roland Knitschky, Hennef

Impressa:

DWA, Hennef

ISBN:

978-3-941897-91-5

Printed on 100 % recycled paper

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011
German Association for Water, Wastewater and Waste

Todos los derechos están reservados, en particular aquellos de traducción en lenguas extranjeras. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, en ninguna forma – ni fotocopiarla, digitalizarla o, a través de otros procesos – o transferirla a un lenguaje usado en máquinas, en particular en máquinas de procesamiento de datos, sin autorización escrita de esta editorial.



La traducción del presente manual es el resultado de la cooperación entre la DWA y el proyecto de cooperación LiWa, uno de los proyectos Megaciudades del BMBF.

LiWa significa: Gestión Sostenible Del Agua Y Las Aguas Residuales en Centros De Crecimiento Urbano Afrontando El Cambio Climático
-Conceptos para Lima Metropolitana (Perú)

Enfoques del proyecto: El proyecto LiWa se concentra en el desarrollo y la aplicación de procedimientos y herramientas fundamentales para la toma de decisiones participativa y basada en discusiones informadas. Se basa en la modelación y la simulación de todo el sistema de abastecimiento de agua y saneamiento dentro del sistema del centro de crecimiento urbano de Lima. Además, el proyecto desarrolla y evalúa opciones para rediseñar el sistema de tarifas de agua y así cumplir con los requerimientos económicos, ecológicos y sociales. Con este enfoque es posible tratar apropiadamente los temas y los retos claves de la gestión eficiente de las estructuras de agua y aguas residuales en cuanto a la energía y al clima.

LiWa esta siendo financiado por el Ministerio Alemán de Educación e Investigación (BMBF) como parte de su programa de investigación 'Megaciudades del Futuro'.

Socios del proyecto LiWa

ifak e. V. Magdeburg [ifak]

Interdisciplinary Research Unit for Risk Governance and Sustainable Technology Development,
Universität Stuttgart [ZIRN]

Institute of Hydraulic Engineering, Universität Stuttgart [IWS]

Ostfalia University of Applied Sciences, Campus Suderburg [OCS]

Helmholtz Centre for Environmental Research, Leipzig [UFZ]

Dr. Scholz & Partner [SCH]

SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima), Lima [SED]

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima [UNI]

Foro Ciudades para la Vida, Lima [FCPV]

FOVIDA, Lima [FOV]

(www.lima-water.de)

Prólogo

Desde hace años, se llama la atención acerca de la creciente intensidad con que, en el futuro, el agua será a nivel mundial, un recurso aún más escaso que el petróleo y el gas. Algunas informaciones, tales como el reciente Informe de desarrollo global del UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), “GEO-4” (UNEP 2007), indica claramente cuales son las causas: la población mundial de más de seis billones de personas y el nivel de consumo de una gran parte de ella, lleva a un consumo de recursos mayor al que la naturaleza puede reemplazar. Una aproximación a una solución consiste, en consecuencia, en una reducción del consumo de recursos. Aplicado al agua, esto significa su reutilización y lograr ciclos más cortos.

En Alemania, debido a que existen, hasta ahora, suficientes recursos de agua fresca, este tema ha pasado a un segundo plano. No obstante, con la mirada puesta en los desafíos del mercado internacional y por consiguiente, en las necesidades crecientes de información y, asimismo dentro del sector del agua en Alemania, se reunieron el Comité de trabajo especialista KA-1 en nuevos tipos de sistemas sanitarios (“New types of sanitary systems”) y el grupo de trabajo BIZ-11.4 “Water Reuse” dándose inicio a un programa de trabajo dentro de la DWA.

Una de las tareas del grupo de trabajo es la identificación y descripción de las etapas de tratamiento en la reutilización del agua. Nos referiremos particularmente, a los procesos en que, debido a la falta de aplicación se dispone de poca experiencia en Alemania. Por ello mismo, dentro del grupo de trabajo, se elaboró una matriz en la que las técnicas de tratamiento de aguas residuales son expuestas y evaluadas, con el objetivo de reutilizar el agua.

Es necesario resaltar que los resultados del trabajo *ad honorem* del grupo BIZ-11.4 de la DWA, presentado en este volumen de temas, no forma parte del conjunto de normas y reglamentos de la DWA. La matriz de evaluación que exponemos ha sido creada desde el punto de vista actual y hacemos ver expresamente que no pretende ser exhaustiva, sino que está abierta a un desarrollo posterior. En este punto, el grupo de trabajo agradece todas las contribuciones e informaciones.

En <<http://www.dwa.de/master/wastewater-reuse>> el usuario tiene acceso a páginas Excel del anexo *Assessment Matrix of Treatment Steps for Water Reuse* en idioma inglés. El usuario puede cambiar las tablas y adaptarlas a sus requerimientos.

Autores

Los temas de este volumen de la DWA han sido elaborados por el grupo de trabajo de la DWA, Group BIZ-11.4 “Water Reuse”. Las siguientes personas han colaborado en el desarrollo del volumen:

CORNEL, Peter	Profesor universitario, Doctor en ingeniería, Darmstadt
FIRMENICH, Edgar	Diplomado en ingeniería, Mannheim
FUHRMANN, Tim	Diplomado en ingeniería, Witten
HEIDEBRECHT, Rüdiger	Diplomado en ingeniería, Hennef
HUBER, Hans	Doctor en ingeniería honoris causae, Diplomado en ingeniería, Berching (Chairman)
KAMPE, Peter	Diplomado en ingeniería, Maintal
KARL, Volker	Diplomado en ingeniería, Frankfurt
MEDA, Alessandro	Doctor en ingeniería, Darmstadt
ORON, Gideon	Profesor universitario, Kiryat Sde-Boker, Israel (Guest contribution)
ORTH, Hermann	Profesor universitario, Doctor en ingeniería, Bochum
SCHEER, Holger	Diplomado en ingeniería (con habilitación), Essen
SCHNIDTLEIN, Florian	Diplomado en ingeniería, Bochum
SCHNEIDER, Thomas [†]	Diplomado en ingeniería, Bochum
SCHWARZ, Christina	Diplomado en ingeniería, Neubiberg
WEISTROFFER, Klaus	Diplomado en ingeniería, Eschborn

Organizador del proyecto dentro de la oficina central de la DWA:

HEIDEBRECHT, Rüdiger	Diplomado en ingeniería, Hennef Departamento de Formación (entrenamiento) y Cooperación Internacional
----------------------	--

Contenido

Prólogo	3
Autores	5
Contenido	6
Lista de Tablas.....	6
1 Objetivo de este volumen de DWA – temas	7
2 Relevancia de la reutilización del agua	7
3 Consideraciones acerca de la utilización de aguas residuales.....	8
3.1 Aspectos socio-culturales y aceptación	8
3.2 Requerimientos tecnológicos.....	10
3.3 Requisitos de gestión de la planta y competencia operacional.....	10
3.4 Aspectos relacionados con la salud.....	11
3.5 Regulación legal y control estatal.....	12
3.6 Mercados potenciales para proyectos de reutilización de aguas	12
3.7 Precios y financiamiento	13
4 Ejemplos de implementación	14
4.1 Ejemplos de aplicación en Alemania	14
4.2 Ejemplos de aplicación en todo el mundo	15
5 Matriz de Evaluación de los pasos del tratamiento para la reutilización del agua.....	16
5.1 Objetivo de la matriz.....	16
5.2 Limitación	17
5.3 Estructura de la Matriz y explicación de términos	18
5.3.1 Líneas 1 – 2 “Riesgos de Salud”	20
5.3.2 Líneas 3-6 “Eficiencia económica – costos de inversión”.....	20
5.3.3 Línea 7-11 “Eficiencia económica – costos de operación”	21
5.3.4 Líneas 12-16 “Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente”	22
5.3.5 Líneas 17-19 “Requisitos del personal operativo de la planta”	22
5.3.6 Líneas 20-36 “tecnología de la planta”	22
5.3.7 Líneas 37-40 “Tecnología de irrigación”	24
5.3.8 Líneas 41-44 “Utilización de las opciones”	24
Referencias	25
Leyenda	32
Apéndice A Abreviaturas (no es parte de la version alemana)	33

Lista de Tablas

Tabla 1: Encabezamiento con parámetros de evaluación	19
--	----

1 Objetivo de este volumen de DWA – temas

La necesidad de tratar las aguas residuales para ser reutilizadas es, sobre todo, importante en el plano internacional. Y no únicamente en las regiones de baja precipitación fuera de Europa, sino que, en el futuro este tema también tendremos que considerarlo cada vez más en Europa y no sólo en el sur del continente, donde la reutilización agrícola del agua es ya una práctica establecida. Además de su utilización en la agricultura, el uso múltiple del agua en zonas urbanas adquirirá una importancia cada vez mayor, en particular debido al rápido crecimiento de las megaciudades, en las que, casi independiente de la zona climática, las necesidades locales de agua exceden los recursos disponibles de agua fresca.

Con esto, el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización significa una compleja asignación de tareas: además de regulaciones nacionales e internacionales y normas sobre calidad del agua y de tecnología, también existen diversas limitaciones que varían de país a país y que deben ser consideradas, tales como la forma en que se utiliza el agua, los recursos financieros y el nivel de formación del personal local. Hay numerosas publicaciones actuales sobre los múltiples desafíos en esta materia, ver, por ejemplo: AQUAREC (2006), ANGELAKIS et al. (2001), WHO (2006), ASANO (2007), JIMÉNEZ y ASANO (2008).

Con el fin de dar una visión de conjunto y de apoyo en el tema selección de técnicas de tratamiento apropiado para la reutilización del agua, el grupo de trabajo BIZ-11.4 “Water Reuse” elaboró una matriz con los procesos más variados de tratamiento de aguas residuales. Cada paso del proceso es evaluado con respecto a diversos aspectos tales como la calidad del efluente, los costos, el consumo de materiales y de energía y los gastos de mantenimiento preventivo, etc. Con la evaluación, se lleva a cabo una caracterización individual de los métodos de tratamiento, se relaciona unos con otros y se otorga información acerca de los riesgos de cada proceso en particular. De modo que la evaluación de la matriz analizada, se centra principalmente en el uso agrícola y urbano (irrigación, abastecimiento de agua contra incendios y agua para usos industriales). No es parte de este volumen de temas, el área del uso múltiple para la producción y la reutilización indirecta accidental (involuntaria) del agua, como tampoco los llamados conceptos alternativos de servicios de saneamiento, basados en la separación de los flujos de sustancias diversas en las aguas residuales.

El objetivo de este volumen de temas y de la evaluación es brindar la información fundamental acerca de las posibilidades de aplicación, los criterios de la misma, y los requisitos previos para la implementación de las diferentes técnicas de tratamiento de aguas. La finalidad de la matriz es ofrecer una ayuda rápida y sencilla en la toma de decisiones, sin tener que realizar un procedimiento exhaustivo para adoptar una decisión acerca de cada detalle. En efecto, una decisión detallada debe quedar siempre en manos de los especialistas. La matriz no podrá nunca reemplazar a un concepto de ingeniería en casos especiales; es más bien un apoyo para tomar una decisión acertada y bien fundada, si no está disponible el conocimiento de un experto. A este respecto, el sector al que está destinada la aplicación de la matriz es menos el de los expertos ya mencionados, y más el de las comunidades de intereses público, que tomarán las decisiones junto con los políticos responsables (con el propósito de sensibilizar, así como también a las oficinas de consultoría, constructores y operadores de plantas en los municipios y en la agricultura, tanto en Alemania como también en el extranjero).

2 Relevancia de la reutilización del agua

Los limitados recursos mundiales de agua, así como también las influencias antropológicas sobre este tema, representan un problema mundial cada vez de mayor trascendencia, que afectará, sobre todo, a la población de países en desarrollo (o en el umbral del desarrollo) ubicados en regiones áridas y semiáridas. Además de las condiciones climáticas y, en general, de la desigual distribución de los recursos hídricos, el crecimiento extremo de la población y el aumento del consumo per capita de agua en esos países, es la causa más importante de la cada vez mayor escasez de agua en el mundo. Con frecuencia, un manejo de los recursos hídricos que no se orienta sobre el principio de sustentabilidad y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas refuerza el problema. De acuerdo a los pronósticos del World Water Development Report (2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, UNESCO 2006), si se mantienen los hábitos de consumo actuales, a mediados de este siglo, alrededor de siete mil millones de personas en 60 países, sufrirán escasez de agua, si se toma como base la extrapolación menos favorable. En el caso más favorable, habría por lo menos dos mil millones de personas en 48 países, que sufrirán escasez del vital elemento. Los expertos del Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC 2007) predicen asimismo un mayor agravamiento de la escasez mundial del agua, debido a los efectos del cambio climático mundial.

La reutilización de agua es una necesidad indispensable en numerosos países y una práctica habitual en la industria. En el futuro, será un componente esencial dentro del manejo sostenible de recursos hídricos – también como una medida destinada a reducir los efectos del cambio climático – y es, sin duda, uno de los mayores desafíos del siglo 21. Las aguas residuales, tratadas y purificadas de conformidad con las exigencias del caso concreto, son aquí consideradas, en el sentido de reutilizar los recursos hídricos a nivel local – que se aprecian como valiosos, utilizables y controlables –. De manera que la reutilización del agua contribuye a reducir la discrepancia que existe entre el aumento constante del consumo de agua y los recursos de agua limitados.

Llegados a este punto, no podemos dejar de mencionar a la agricultura, el mayor consumidor de agua en el mundo. La reutilización de las aguas residuales, debidamente purificadas para el riego agrícola, constituye un potencial particularmente importante para el mantenimiento de los recursos de agua fresca. Asimismo, el almacenamiento adecuado del agua, tiene también oportunidades de desarrollo más allá de las influencias estacionales (no obstante, el almacenamiento del agua presenta también requisitos especiales para asegurar la calidad del agua tratada).

En muchos países en desarrollo y en el umbral del desarrollo, la reutilización de aguas residuales insuficientemente tratadas o no tratadas es lamentablemente muy común. Particularmente, en zonas urbanas o peri-urbanas, las aguas residuales crudas de la población local son utilizadas para el riego, ya que están disponibles en forma gratuita, son independientes de los períodos secos y tienen un alto valor como fertilizante. Por lo tanto, el empleo de aguas residuales, a menudo sin tratar, contribuye significativamente a la conservación y aumento de la producción de alimentos. A pesar del marco legal así como las normas de calidad para la reutilización de aguas, que existen en estos países (y que con frecuencia están basadas sobre las directivas pertinentes de la OMS y de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos, Agencia de protección del medio ambiente, EPA), en la práctica, la reutilización del agua tiene lugar, en la mayoría de los países en desarrollo y en el umbral del mismo, en gran parte sin control y sin cumplir con los requisitos higiénicos mínimos (RUHR-UNIVERSITY BOCHUM 2005).

Para un manejo sostenible de los recursos hídricos resulta pues esencial reconocer las aguas residuales como un recurso, para el cual, el tratamiento es absolutamente indispensable, si se quiere reducir los riesgos de salud que se derivan de su uso incontrolado.

3 Consideraciones acerca de la utilización de aguas residuales

3.1 Aspectos socio-culturales y aceptación

El tema de la reutilización del agua abarca una completa serie de aspectos muy diferentes entre sí, aspectos que, sin embargo, deben considerarse en su interacción para contribuir a una reducción sostenible del consumo de recursos. Reutilizar el agua tiene una influencia en la salud y en la vida diaria de las personas; a su vez, la tecnología asociada debe ser fácil de operar y ser muy clara. Aparte de las cuestiones técnicas, de organización e institucionales, en esta materia los aspectos socio-culturales tienen un especial significado.

La aceptación por parte de los usuarios es sin duda el factor clave en la reutilización de las aguas. En muchas regiones del mundo, esta aceptación es, al menos en parte, “fomentada” por las fuerzas económicas: a través de la decreciente idoneidad de los recursos hídricos tradicionales, del incremento de los precios de la energía para la elevación del agua desde los pozos profundos, así como altos costos del mantenimiento para mencionar sólo algunas de las causas. Sin embargo, con frecuencia, el uso de un mayor volumen de agua reciclada se enfrenta a una resistencia de parte de la población, que va desde una cierta molestia hasta una abierta oposición. En parte, esto se debe a razones fácilmente comprensibles, que se asocian con la técnica en sí, con su operación y mantenimiento y también con la calidad del agua (p. ej., relacionadas con el olor y el color del agua). En consecuencia, aunque muchos sistemas de riego comunes son principalmente aptos para el empleo del agua reciclada, en la práctica cotidiana, sin embargo, no es realmente posible poner en práctica este sistema de manera que esté totalmente “libre de fallas”.

Pese a que el uso de agua de lluvia y de aguas residuales ligeramente contaminadas tiene una larga tradición en muchas partes del mundo, como también la utilización de los excrementos animales y humanos como abono en la agricultura extensiva, es precisamente en muchas regiones con escasez de agua donde existe una clara reticencia por parte de los potenciales usuarios frente al agua reciclada. Dependiendo de su empleo, la población siente rechazo ante la reutilización del agua, debido a que no “percibe” un distanciamiento suficiente frente a los patógenos contenidos en el agua tratada. A esto se añade, que en algunas regiones, existen preceptos o mandatos religiosos o cuasi-religiosos sobre los que se basan

estas limitaciones, y que restringen el manejo del agua tratada (la reutilización del agua puede, sin embargo, también ser fomentada por la religión, ver los ejemplos del cuadro que aparece más abajo). En estos casos, será necesario recorrer un camino largo y pedregoso de sensibilización, a fin de modificar pacientemente las actitudes tradicionales. Un papel importante juega aquí, la circunstancia de que el funcionamiento de los sistemas correspondientes sea acompañado por un sistema de seguridad lo suficientemente robusto que garantice el mantenimiento de la norma mínima para el tipo específico al que está destinada el agua reutilizada. Los usuarios del agua reciclada tienen que ser capaces de fiarse de estas normas, ya que de otro modo, no se logrará la confianza y la aceptación.

Lo contrario ocurrirá, a pesar de que la aceptación institucionalizada – en forma de especificaciones legales y reglamentarias – sea muy restrictiva, si la aceptación del usuario y el consumidor final (p. ej., pequeños agricultores y consumidores de productos agrícolas) es mucho más pragmática, debido a las necesidades derivadas de la escasez de agua. Esto también significa que, en este evento, las condiciones oficiales de aprobación son, en muchos casos, esquivadas o ignoradas, en particular, si no existe una ejecución eficiente, ni de los necesarios mecanismos de control.

Es obvio que la reutilización directa de agua, en todos los casos conduce a un contacto del consumidor final con el agua residual tratada, sea a través de los productos agrícolas, o bien en el hogar o incluso como agua potable (para beber) reciclada, de modo que las inhibiciones socio-culturales deben tenerse en cuenta, al menos hasta cierto punto. El estar abierto frente a todas las cuestiones relevantes y la temprana participación en el proceso de planificación y en la toma de decisiones son condiciones indispensables para asegurar una implementación exitosa. Con todo, los siguientes grupos de temas deberán, por lo menos, tenerse presente; el peso o valoración que se les dé, es diferente, dependiendo de la aplicación concreta:

- Información estadística para la gestión del agua (demanda de agua vs. abastecimiento de agua),
- Higiene y las medidas de salud,
- Los requerimientos técnicos de la producción y aplicación del agua residual tratada,
- Los requisitos operacionales y la competencia (entre otras cosas, el número y la calificación del personal operativo, la seguridad operativa y las medidas de emergencia), dependiendo asimismo de la complejidad de los procesos de tratamiento,
- Viabilidad financiera, técnica y económica, teniendo en cuenta los costos de inversión (gastos de capital) y de operación (gastos operacionales),
- Aspectos relacionados con el medio ambiente y la sostenibilidad,
- Aspectos reglamentarios.

Ejemplo: la aceptación religiosa para la reutilización del agua tratada

En los países del Medio Oriente y África del Norte, predominantemente islámicos, ya desde el comienzo del siglo XX, la reutilización del agua ha tenido un rol importante. Por ejemplo en Egipto, en los alrededores de El Cairo en un área de casi 4.500 hectáreas, han sido usadas aguas residuales para el riego agrícola, a partir del año 1900 aproximadamente. Sobre la base del crecimiento de la población (hoy en día 72 millones; el 2017 cerca de 83 millones) y la pequeña cantidad de recursos hídricos disponibles (actualmente, existe un déficit de alrededor de 20 billones m³/a; el 2017, se estima que este déficit llegará a los 40 billones m³/a) no es de extrañar que la importancia de la reutilización de agua aumentará en todo el país. En Irán y otros países islámicos la reutilización de aguas residuales tratadas es también una práctica común y es reconocida como medida de gran significado en el combate contra la escasez de agua.

Importantes representantes religiosos musulmanes de esta región apoyan tal política. Por ej., H. E. Ahmed Al-Sabban, Viceministro del Ministerio saudí de Asuntos Islámicos, explicaba, en una conferencia en Abu Dhabi sobre este tema, que el Islam apoya el manejo cuidadoso del agua y la protección de los recursos hídricos. La reutilización del agua, incluyendo el uso de las aguas residuales tratadas, sobre todo, considerando la escasez de agua y creciente demanda por parte de la población, no está en contradicción alguna con la religión, “siempre y cuando sea agua pura, y no muestra ninguna coloración, ni olor”. (AL-SABBAN 2005)

3.2 Requerimientos tecnológicos

Para la reutilización segura del agua, p. ej., en la agricultura, los requerimientos específicos de calidad y, en consecuencia, de su tratamiento son garantizados a través del empleo de la tecnología adecuada. A estos requerimientos se refiere una amplia gama de aspectos, tales como la potabilización para la protección de la salud humana, la eliminación de nutrientes para proteger las aguas superficiales y subterráneas y también la reducción de la concentración de materia sólida, para proteger las instalaciones de riego.

Un desafío adicional representa la interacción de la afluencia continua de aguas residuales y el consumo discontinuo de las aguas ya tratadas. Esto conduce a que sea necesario almacenar agua, tanto en tanques de almacenamiento de superficie, como también su almacenamiento dirigida en acuíferos. Por otra parte, el tipo de almacenaje exige requerimientos de calidad al tratamiento del agua (p. ej. con miras a una nueva contaminación microbiana y respecto al contenido de nutrientes).

La matriz de evaluación ofrece en el capítulo 5 una ayuda apropiada a las diversas exigencias, considerando las posibilidades de aplicación de las diferentes tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

3.3 Requisitos de gestión de la planta y competencia operacional

La mejor tecnología es inútil si no puede ser operada en conformidad con las directrices de la misma. Dependiendo de la complejidad del tratamiento y del proceso tecnológico seleccionado la operación del sistema de reutilización de aguas residuales exige un determinado grado de competencia en la gestión de la planta. El personal, debido a las normas técnicas de seguridad (higiene y protección de la salud) tiene que estar motivado y ser capaz de actuar responsablemente. Esto lleva a la necesidad de contar con especialistas calificados y especialmente capacitados, a través del perfeccionamiento. Al realizar proyectos en el extranjero, hay que poner especial atención en la selección del personal de operación que, en caso necesario, tiene que ser perfeccionado adecuadamente, para que alcance el nivel necesario de capacitación. Es aconsejable una formación continua, de seguimiento y control, especialmente durante los primeros años después de la puesta en servicio.

Especialmente, en países no-europeos, estos requisitos, a menudo se oponen a la realidad de los servicios públicos de aguas residuales que, en parte, presentan las siguientes características:

- Una significativa falta de cobertura de los costos de operación,
- El personal no está suficientemente calificado,
- Limitadas posibilidades de capacitación y perfeccionamiento,
- Personal de trabajo con sueldos inapropiados.
- Necesidad de mejorar la imagen de los empleados (de "operador de alcantarillas" a "administrador de recursos"),
- La fuerte jerarquización y las estructuras de manejo centralizado limitan las posibilidades de adoptar decisiones en el lugar mismo,
- Falta de equipamiento, especialmente la falta de instrumentos, piezas de repuesto, herramientas, energía y productos químicos.

Estas condiciones constituyen un enorme desafío para la motivación de los empleados, la satisfacción de las necesidades operativas y las normas de seguridad.

Las precauciones operacionales para una gestión de la planta de acuerdo a la legislación y el aumento y/o mantenimiento de la competencia necesaria del personal, son factores importantes que deben ser tenidos en consideración al planificar nuevos proyectos de reutilización de aguas.

Ejemplo: Fortaleciendo la competencia operacional en Argelia

Si el mantenimiento preventivo de las instalaciones de ingeniería de aguas es insuficiente, la eficacia y la vida útil de la planta se reduce considerablemente. Así, instalaciones establecidas recientemente han tenido que dejar de operar después de pocos años, debido, en parte, a la insuficiente competencia operacional.

La Organización nacional para la Gestión de sistemas de aguas residuales de Argelia (National Algerian Organisation for the Operation of Wastewater Facilities, ONA), en cooperación con socios alemanes, ha elaborado un programa de formación en base a módulos y cursos de perfeccionamiento para la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los futuros instructores fueron entrenados en un centro de perfeccionamiento para el personal procedente de todas las regiones del país, en la planta depuradora de la provincia de Boumerdes. Las materias tratadas fueron, entre otras, la seguridad laboral, el mantenimiento preventivo, la medición y el control, la gestión de fallas, la reparación, la información y la gestión de almacenamiento. Mediante este perfeccionamiento, podría lograrse un éxito significativo en un período corto de tiempo y en varias plantas de Argelia y se puede hacer comprender a los empleados que una operación cuidadosa es, en definitiva, tan importante como la adquisición de equipos y recursos. Concentrarse sólo en las inversiones de ingeniería puede originar grandes costos posteriores y una operación inadecuada.

(Sociedad alemana de cooperación técnica, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ, Emscher 2006)

3.4 Aspectos relacionados con la salud

La planificación y operación de instalaciones para la reutilización de aguas residuales deben asegurar que no se pondrá en peligro la salud y la seguridad del personal operativo, de los usuarios del agua, ni tampoco de la población.

Las aguas de alcantarillado, incluso después del tratamiento convencional, contienen un sinnúmero de sustancias remanentes que pueden poner en peligro la salud. Son, sobre todo, restos de sustancias químicas resistentes, patógenos humanos tales como microorganismos patógenos en forma de bacterias, virus, parásitos y helmintos. Una reutilización segura, higiénica y sin peligro de las aguas residuales tratadas exige cumplir ciertos requisitos sobre la calidad del agua, especialmente, desde el punto de vista epidemiológico.

El peligro que deriva de los agentes patógenos depende fundamentalmente del tipo de tratamiento de agua que se aplique, p. ej., en relación con el tipo de irrigación seleccionada. Por tal razón, figuran evaluaciones de idoneidad distintas para diferentes tipos de irrigación en la matriz descrita en este volumen de temas.

Por lo general, en la reutilización de aguas residuales, hay que emplear los procedimientos adecuados de desinfección con los que se reduce los agentes patógenos, mediante su eliminación, destrucción o inactivación, de manera que ya no pongan en peligro la salud. Para lograrlo, debe observarse cuidadosamente los límites nacionales o locales (si los hay), poniendo particular atención en aspectos epidemiológicos incluidos en las recomendaciones internacionales, como las directivas de la OMS de 2006.

En los procesos de desinfección, hay que tener también en cuenta los riesgos relevantes para el personal operativo y el medio ambiente, debidos al empleo de productos químicos y formación de productos secundarios posiblemente tóxicos, para las personas y para el medio ambiente.

Tanto el personal operador, como los usuarios finales deben ser instruidos acerca de los aspectos relativos a la salud y las consideraciones de seguridad que pueden surgir en la reutilización de las aguas residuales tratadas. Para que, en la operación de las plantas no se presente ningún problema que pueda afectar a la salud, es un requisito previo fundamental la elaboración e introducción de planes de operación en casos de falla.

3.5 Regulación legal y control estatal

En muchos estados, existe una regulación legal y un conjunto de reglas técnicas (tales como las especificaciones alemanas, p. ej., DIN 19650 sobre las condiciones higiénicas del agua de riego). En lo que se refiere a la normativa, en particular de países no-europeos, en que el agua es ya o será pronto, un recurso escaso, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La normativa legal, si se cumple y se monitorea en forma adecuada, es con frecuencia suficiente para garantizar un manejo relativamente seguro del agua y evitar daños permanentes para la salud humana y la calidad de las zonas destinadas a la agricultura.
- La normativa legal nacional se origina con frecuencia de acuerdo a la regulación de los estados vecinos, de instituciones internacionales o de los países socios y, en consecuencia, no siempre está completamente adaptada a las necesidades específicas del país.
- Algunas normas contienen inconsistencias en diversos grupos de parámetros, p. ej., en valores límite que no coinciden entre sí o no pueden cumplirse al mismo tiempo.

Además de la normativa nacional, existen variadas especificaciones reconocidas internacionalmente. Podemos mencionar como ejemplo las recientemente publicadas recomendaciones de la OMS (OMS 2006). Éstas representan el marco convenido para el desarrollo de las distintas directivas y normas nacionales destinadas a alcanzar la reducción de los riesgos microbiológicos para la salud asociados con el agua y dan información sobre los procedimientos de control necesarios para lograr seguridad microbiológica suficiente. Fundamentalmente, los requisitos de calidad (p. ej., además de los patógenos, también la sal y los nutrientes para el uso agrícola) se hallan fuertemente dominados por la finalidad a la que está destinada el agua.

Las regulaciones gubernamentales acerca de la gestión del agua, especialmente en la reutilización del agua, tiene que ir más allá de las normas técnicas y requisitos predefinidos y cubrir aspectos más profundos, tales como la estructura tarifaria y el monitoreo, así como también las responsabilidades y derechos de las partes involucradas (organizaciones implementarias, constructores, operadores, consumidores). P. ej. hay que determinar medidas de seguridad, la presentación de informes y el control tanto interno, como externo e independiente. Además, se debe especificar claramente un mecanismo de sanciones en caso de que las normas no sean cumplidas.

Sobre la base de la necesaria seguridad de planificación técnica, y la transparencia en torno al proceso de la licitación pública, la existencia de normas muy claras es un pre-requisito muy importante para una colaboración económica segura y confiada.

En suma, se puede, no obstante dejar claro que generalmente no hay un vacío legal o normativo, ni faltan recomendaciones para lograr un standard mínimo aplicable a la reutilización del agua. En la mayoría de los países, el problema no es la inexistencia de una regulación, ni de normas sobre calidad del agua reciclada; el problema radica, sobre todo, en que estas normas no se cumplen y que el monitoreo – ya sea realizado por instituciones privadas o estatales – no es realmente independiente. A esto se añade el hecho de que la regulación es, muchas veces, muy difícil de cumplir debido a la falta de recursos económicos.

3.6 Mercados potenciales para proyectos de reutilización de aguas

Debido a la escasez y a la contaminación de los recursos hídricos, así como a nuevas restricciones impuestas por la regulación, tanto el mercado europeo del agua, como el internacional ofrecen oportunidades cada vez mayores de inversiones rentables. Así, las aguas residuales tratadas representan un recurso importante, con lo que el mercado de las mismas se beneficiará considerablemente durante las próximas décadas.

Si bien, hasta ahora, las estrategias han estado destinadas primordialmente al desarrollo y distribución central de los recursos hídricos importantes, p. ej., la Directiva marco del agua (DMA), el concepto actual está orientado no tan sólo a un manejo integrado de los recursos, sino también a una gestión que cubra los costos de los recursos de agua. La entrega gratuita de agua practicada en algunas regiones, en el pasado, ha llevado con frecuencia a derrochar recursos hídricos limitados y ha conducido a una cobertura insuficiente de los costos de operación. Hasta hoy, tanto las aguas tratadas, como las residuales, incluso en zonas con escasos recursos hídricos naturales, son descargadas durante todo el año o por temporadas, de manera que no están disponibles para un uso renovado y se pierden para la producción de nutrientes y

otros valores añadidos. Con la menor disponibilidad de nuevos recursos hídricos y, al mismo tiempo, con el aumento de la demanda del recurso en muchas regiones, el agua ha incrementado su valía para ser “consumido” de una sola vez. Con ello, el cierre de los ciclos de agua y de nutrientes, debido a la disponibilidad relativamente constante de la oferta hídrica, la cercanía parcial al lugar donde se encuentran las instalaciones del uso, así como al ahorro de agua fresca y de costos de energía, demuestra que es una solución cada día más rentable.

Sin embargo, la implementación de ciclos de aguas residuales requiere de tecnologías “hechas a medida” para el tratamiento respectivo, p. ej., acordes con cultivo agrícola, para así tener en cuenta la reutilización de los nutrientes de acuerdo a los períodos de vegetación. El mercado al que da lugar la ingeniería de aguas residuales, se encuentra con frecuencia en una estrecha relación con las posibilidades de gestión del agua en el desarrollo de conurbaciones, ya que, por un lado, la mayor parte de las aguas residuales se produce aquí y, por otra parte, el agua tratada tiene muchos usos y puede, entre otros, alimentar de inmediato al sector industrial y comercial.

Además de los países áridos y semiáridos en desarrollo, también en los países más desarrollados la demanda de agua aumenta, al igual que los costos de agua fresca y, considerando que las especificaciones en el ámbito de la protección del medio ambiente son cada día más estrictas, la reutilización de las aguas tiene cada vez más posibilidades de mercado. Las mayores expectativas, tanto en cuanto a eficiencia energética y como también económica, así como las nuevas tecnologías de procesamiento son un impulso adicional a la innovación en este campo.

La gestión de los recursos hídricos integrados, en particular, la reutilización del agua ofrece a empresas manufactureras y de consultoría – no en último término, debido al cambio climático – un mercado con crecientes posibilidades en todo el mundo. La matriz descrita en este volumen de temas para los métodos de tratamiento de aguas residuales, da al lector una importante información para la planificación y preparación de ofertas de proyectos de licitación, con el objeto de brindar al usuario final, agua de una elevada calidad.

Ejemplo: El mercado de reutilización del agua en Asia

Dada la necesidad de “ponerse al día” y considerando el gran crecimiento económico de Asia, este continente presenta un potencial muy alto para el tratamiento de aguas residuales y su reutilización; se estima que su tasa de crecimiento anual llegará, en parte, a más de 15% durante los próximos años. P. ej., el 2003 en Indonesia, el mercado para el tratamiento de aguas residuales era de alrededor de 90 millones de dólares norteamericanos, con un crecimiento anual de un 10 %. De la misma manera, mercados como Taiwan o las Filipinas tienen una fuerte necesidad de “ponerse al día”; lo mismo se puede decir de Tailandia y Malasia..

En China el gobierno intenta contrarrestar la crisis del agua provocada por el enorme crecimiento económico, mediante el fomento de la reutilización intensiva de agua. Así, p. ej., las empresas de desarrollo especial y las empresas constructoras, institucionales o privadas, están obligadas a planificar la reutilización del agua para el futuro. Con el fin de apoyar esta propuesta, se ha creado, entre otras, un consorcio (China Water Reuse Trade Consortium), encargado de apoyar la comercialización de tecnologías apropiadas, de equipos y productos.

3.7 Precios y financiamiento

Una gestión eficaz de la demanda mundial de agua por parte de los más variados usuarios a través del Derecho de aguas y de los precios de la misma, requiere una política de precios a largo plazo y una regulación tanto a nivel nacional, como regional y local. Esto también puede promover soluciones innovadoras con respecto a los aguas de circulación y a los conceptos para un sistema de sanidad con control de fuente para las zonas rurales y urbanas.

Los precios razonables para los diferentes tipos de uso, y también para el abastecimiento de agua potable y la reutilización de aguas residuales con fines industriales o de riego, contribuyen a emplear con mayor eficacia los limitados recursos hídricos. Los nuevos principios europeos de la Directiva marco del agua exigen una contribución financiera por parte de los consumidores y también de quien contamina. A largo plazo, se buscará cubrir el costo íntegro para así garantizar la sostenibilidad. Esto significa establecer tarifas socialmente aceptables y progresivas, de acuerdo a la capacidad y a la disposición de los usuarios. Éstas deben ser ajustadas periódicamente de acuerdo a la inflación con el fin de asegurar la operación de las instalaciones y otros servicios al cliente (p. ej. el desarrollo del nivel de acometida).

Llevando a cabo programas de inversión a largo plazo para la reutilización del agua –gracias a incentivos económicos– en zonas con escasez de agua, como p. ej., Singapur, Sudáfrica, Australia y California, los mismos consumidores se han adaptado en el mediano y en el largo plazo a los recursos hídricos disponibles regionalmente con la heterogénea calidad del agua y los diferentes precios

En el financiamiento de nuevas instalaciones para la reutilización del agua, los recursos financieros propios, los subsidios gubernamentales y los préstamos están sujetos a condiciones muy diferentes. Los subsidios son destinados frecuentemente a proyectos innovadores. Las bases de acuerdo para la financiación por parte de los bancos internacionales de desarrollo se fundamentan en estudios de viabilidad, que analizan términos del proyecto y tecnologías alternativas y proponen soluciones rentables, tanto para los inversionistas (interesados en una baja inversión y bajos costos operativos), como para los usuarios (interesados en tarifas corregidas).

Los numerosos ejemplos internacionales de proyectos acordados para la reutilización del agua indican las formas en que las agencias comercializadoras, siendo competentes, pueden justificadamente invertir, debido a las restricciones, regulaciones, directivas – y, en definitiva, debido a la regulación estatal respectiva. Exitosos ejemplos prácticos se encuentran en el Research Report AQUAREC (2006) financiado por la Unión Europea y el Informe del Euro-Mediterranean Information System on know-how in the Water sector (EMWIS) para la reutilización del agua (2007).

4 Ejemplos de implementación

4.1 Ejemplos de aplicación en Alemania

Aunque, en Alemania existe una experiencia global con las más variadas tecnologías de tratamiento, la reutilización de aguas residuales de alcantarillado purificadas ha sido más bien, hasta ahora, rara debido a la abundancia de agua. En Alemania, la reutilización se limita esencialmente a la irrigación agrícola, concretamente al riego por goteo al riego por aspersión, a la recarga de aguas subterráneas o filtración de banco como una forma de reutilización indirecta del agua (lo que no es tema de este volumen). Se emplea también, en pequeña escala, el uso de aguas grises, en los hogares y en las instalaciones hoteleras.

Las pocas aplicaciones, en riego agrícola y crianza de peces, de las aguas residuales, se han desarrollado históricamente desde el inicio del proceso de tratamiento de las aguas de alcantarillado, implementadas en Alemania a comienzos del siglo XX. Luego de aumentar las necesidades y limitaciones de inmisión de efluente y la aplicación resultante de ella a todo el ámbito de las modernas técnicas biológicas de tratamiento de aguas, la reutilización de aguas de alcantarillado purificadas ha cesado en gran medida.

Los proyectos de reutilización de aguas fueron o son aún implementados para el riego agrícola, p. ej., en Berlín, Bielefeld, Brunswick (ver el cuadro de ejemplo), Darmstadt, Dortmund, Friburgo, Münster y Wolfsburgo. Los estanques de peces con aguas residuales fueron operados, entre otros, en Amberg, Núremberg, Spandau y en las cercanías de Múnich.

Ejemplo: la reutilización de agua para el riego agrícola y la dilución de descarga del cuerpo receptor en Brunswick

En **Brunswick**, ya en 1895, se comenzó a depositar el estiércol líquido del alcantarillado urbano sobre suelos arenosos ligeros, por una parte, para así mejorar la situación higiénica de la ciudad y su condición de natural receptora de aguas y también con el fin de mejorar la calidad de los suelos de esas áreas. Hoy en día, las aguas residuales de la ciudad de **Brunswick** (alrededor de 22 millones m³/a) son tratadas en forma totalmente biológica en la moderna planta depuradora de Steinhof (con 350.000 PT capacidad de conexión) antes de ser empleadas en la agricultura para el riego por aspersión de una superficie total de 3.000 ha, en parte mezclada con exceso de lodo, durante los meses de verano.

En las zonas agrícolas, se desarrolla principalmente cultivos de interés económico, como p. ej. la remolacha azucarera. El riego de cultivos de productos alimenticios, que se consumen crudos y directamente, está prohibida por razones de higiene. Un futuro cultivo de materias primas renovables para su uso energético es hoy en día, materia de intensa discusión.

En los meses de invierno, se efectúa la reposición y almacenamiento de las aguas subterráneas. Los campos de percolación existentes sirven como regulador natural para equilibrar positivamente las variaciones en el tratamiento de aguas residuales y para proteger al cuerpo receptor de las aguas inestables. Mientras tanto, el riego continuo de estas áreas ha dado lugar a biotopos cuyas valiosas estructuras se encuentran hoy bajo protección.

El pequeño número de proyectos para la reutilización del agua supone, sobre todo, que existen suficientes recursos de agua fresca. Las diferencias regionales son claras: hoy en día, las regiones del Este de Alemania presentan un balance climático-hídrico negativo. Años extremadamente calurosos y secos, con déficits de hasta 300 mm de precipitación conducen a una deshidratación de las capas superiores del suelo. Como resultado de las previsiones del cambio climático mundial y el consiguiente calentamiento de la tierra, se prevé el aumento de estas situaciones extremas para Alemania.

Como en amplias regiones, en que predomina el cultivo agrícola, también aquí, se presentan perspectivas para la reutilización de las aguas destinadas a la irrigación agrícola, como una contribución al balance hídrico durante los periodos de escasez de agua. Esto es especialmente aplicable al caso en que, en lugar de cultivos para el consumo humano, se trate de materias primas renovables para el uso energético, ya que, en este caso, los riesgos sobre la salud humana presentan un grado significativamente menor.

4.2 Ejemplos de aplicación en todo el mundo

En el mundo, la reutilización consciente de aguas tratadas se practica en numerosos proyectos (ver los ejemplos en el cuadro, en Europa -España, en el área del Mar Mediterráneo-Jordania y en los Estados Unidos), entre otros para la irrigación de áreas agrícolas y de espacios urbanos verdes, para la acuicultura, la producción de agua industrial y la recarga de aguas subterráneas. Es importante tener en cuenta que existe abundante literatura general y detallada para estudiar los casos en particular; entre las más recientes publicaciones, se cuenta, p. ej., el estudio internacional acerca de la reutilización del agua de JIMÉNEZ y ASANO (2008) y el Informe acerca de la reutilización de aguas en el Mediterráneo (Mediterranean Wastewater Reuse Report, MED-EUWI 2007).

Ejemplo: Reutilización del agua en la Costa Brava, España

Al noreste de **España**, los proyectos de reutilización del agua han experimentando un gran desarrollo, particularmente a lo largo de la región costera de **Cataluña**. La importancia de la reutilización de agua se refleja tanto en las reformas políticas y estructurales como en las cifras. Para dar un ejemplo, en la Costa Brava, entre los años 1989 y 2001, la cantidad de aguas residuales – que después del tratamiento biológico se utilizó nuevamente, con cantidades de efluente constante de aproximadamente 30 millones m³ – aumentó desde, prácticamente cero a cerca de 2,3 millones m³ anuales. El uso se centró en el riego de viñedos, de huertos y de campos de golf. El agua reutilizada se emplea, asimismo en la recarga de los acuíferos como barrera contra la intrusión de agua salada, p. ej., en Torroella de Montgri y en Tossa de Mar.

(SALA y otros 2002)

Ejemplo: Reutilización del agua en el Valle del Jordán, Jordania

Jordania cuenta generalmente, con recursos hídricos extremadamente escasos. Se teme un aumento en la demanda de agua y el agravamiento de la situación que la acompaña. Sobre este pronóstico, el gobierno jordano fomenta la reutilización del agua, lo que está ya regulado en numerosas leyes, ordenanzas y reglamentos. De la demanda general de agua de riego (cerca de 444 millones de m³) está ya cubierta un 16 % (alrededor de 71 millones de m³) con la reutilización de las aguas residuales tratadas.

Las aguas residuales tratadas, especialmente en el Valle del Jordán, son empleadas para el riego tras la mezcla con agua fresca en proporción de aproximadamente 1 : 3 (dilución para “riego sin restricciones”). El reservorio de King Talal, que recibe, cerca de 57 millones de m³ de aguas tratadas de las plantas depuradoras de As Samra, Baqa y Jerash, es de decisiva importancia para el manejo de los recursos hídricos.

(SCHNEIDER 2005)

Ejemplo: Reutilización del agua en California, Estados Unidos

California es considerada como una región que marca tendencias en el campo de la reutilización del agua. Esto es aplicable, tanto en lo relativo a la existencia de normas legales y a la aplicación de tecnologías, como también en el tema de la aceptación social. Ya en el año 2000, en más de 200 plantas depuradoras las aguas residuales eran tratadas para la reutilización. El riego agrícola y el mantenimiento de las áreas verdes son dos de los fines más frecuentes.

Por ejemplo, en la región alrededor de Monterrey, que proporciona a los Estados Unidos casi el 70% del total de la producción de alcachofa, una gran parte de las zonas de producción son regadas por aguas residuales tratadas. En épocas de gran necesidad de irrigación, la producción completa de aguas residuales, de alrededor de 83.000 m³/d, es tratada como agua de riego.

En Irvine existe, paralelamente a la red de agua potable, una red independiente de distribución de agua para el riego de parques, campos de golf, banquinas verdes de las rutas de tráfico, etc. El agua residual tratada para estos efectos comprende más del 20% del consumo total de agua. La distribución de las aguas tratadas está técnicamente tan controlada, que los hogares también pueden emplear del agua.

(ORTH 2005)

5 Matriz de Evaluación de los pasos del tratamiento para la reutilización del agua

5.1 Objetivo de la matriz

El tratamiento de las aguas residuales, debe tener en cuenta a qué objetivo está destinada el agua, de manera que el proceso tiene que considerar cuál es la mejor técnica para la finalidad concreta, teniendo presente las regulaciones nacionales y las normas internacionales (p. ej., de la OMS y de la FAO). Para la selección de la técnica de tratamiento, hay que observar las restricciones que varían de un país a otro. P. ej., las que vienen dadas por los recursos destinados a la inversión y al funcionamiento, así como el nivel de capacitación del personal local dedicado a mantener la planta en funcionamiento.

Con el objeto de apoyar a los planificadores y a los constructores en esta compleja tarea, el grupo de trabajo de la DWA, BIZ-11.4 "Water Reuse" ha elaborado una matriz con los diferentes pasos del proceso de tratamiento de agua. Cada paso del proceso se evalúa desde diferentes puntos de vista, tales como la calidad de efluente, los costos, el consumo de materiales y energía, gastos para el mantenimiento preventivo, etc. La evaluación caracteriza y compara los métodos de tratamiento, independientemente del lugar en que se implementen, en particular destinada a los fines del riego agrícola.

La matriz ha sido desarrollada como resultado de diversas evaluaciones, y pretende ofrecer una visión general de las diversas posibilidades para el tratamiento; quiere ser una ayuda rápida y sencilla para tomar decisiones en el marco de una primera estimación. No pretende ser exhaustiva, ni de validez general; sin embargo, la matriz puede ser aplicada a la mayoría de los casos. Hay que tener claro que no puede sustituir al examen de ingeniería y a una decisión a medida para el caso en particular; pero habilita y facilita tomar una decisión acertada y bien fundada, aun si el conocimiento de los expertos sólo está disponible en forma limitada.

Las evaluaciones que figuran en la matriz son primordialmente de carácter técnico. Los riesgos de salud asociados fundamentalmente con la práctica de la reutilización del agua no se han mencionado en forma explícita. Para ello, se recomienda consultar literatura al respecto, p. ej. las Directivas de la OMS (2006).

5.2 Limitación

La amplia gama de empleo de la reutilización del agua tratada tiene, sin embargo, una limitación. La evaluación de la matriz se concentra, intencionalmente en las siguientes áreas:

- Irrigación agrícola,
- Agua no-potable para uso doméstico (p. ej., para el enjuague de inodoros),
- Para usos urbanos (p. ej. para la irrigación de parques, el cuidado de los caminos y agua para el servicio contra incendios).

El punto de partida para la matriz de evaluación es el empleo previsto para las aguas residuales tratadas. Con esto, el riego agrícola, como uno de los usos más comunes de las aguas tratadas, se halla en el centro de atención. La gran demanda de agua para la agricultura y las bajas exigencias en comparación con otros usos (p. ej., la eliminación de nutrientes puede ser, en parte, dispensada, ya que los nutrientes pueden, en caso necesario, permanecer en el agua, como fertilizantes) ofrece un potencial especialmente importante para la reutilización del agua. De manera que las aguas residuales son vistas como materia prima para el producto "agua residual tratada", que puede presentar diferente calidad en función del tipo de reutilización al que está destinado: p. ej., el contenido de nutrientes permitido está subordinado al período de vegetación y las condiciones del suelo, la calidad higiénica depende, entre otros, de los productos irrigados y del tipo de cultivo, el contenido de materia sólida depende igualmente del tipo de riego, etc. Algo similar ocurre con el agua destinada a usos urbanos, p. ej., para fines de riego y uso de agua no potable para usos domésticos.

Los siguientes tipos de uso, no se consideran en la evaluación de la matriz que presentamos:

- uso industrial,
- indirecta reutilización en el suministro de agua potable,
- conceptos de saneamiento alternativo.

La reutilización y el reciclaje del agua en la industria no se tienen en cuenta en la matriz de evaluación, ya que están establecidos en Alemania y su práctica, bien desarrollada, de manera que no entraremos aquí en más detalle sobre este tipo de reciclaje. Además muchas de las aplicaciones industriales se encuentran integradas en el proceso de producción, de manera que no es posible diferenciar totalmente, entre los ciclos operativos internos y el reciclaje verdadero. Para tener una impresión de la escala de reutilización de agua industrial se presentan las siguientes cifras: el volumen de agua utilizada en el proceso industrial asciende aproximadamente a 30.200 Mil Millón $m^3/año$ (Mm^3) (de ellos, cerca de 22.500 Mm^3 corresponde a agua refrigerada); de una fuente de agua fresca de unos 6.200 $Mm^3/año$ resulta un volumen de agua reutilizada de alrededor de 24.000 $Mm^3/año$. El factor de uso (proporción de agua utilizada para el agua fresca) es de 4,9. Esto significa que un metro cúbico de agua se utiliza un promedio de casi cinco veces. El volumen de agua reutilizada en la industria (alrededor de 24.000 $Mm^3/año$) excede la cantidad de aguas residuales de alcantarillado (aproximadamente 9.695 $Mm^3/año$) por lo menos en un factor de 4,2. (Los datos son de 1998, de conformidad con la Oficina Federal de Estadísticas de Alemania, citado en CORNEL y MEDA 2008).

Un aspecto que tampoco se considera es el área de la reutilización indirecta como, p. ej., el que existe al usar aguas superficiales río abajo de la descarga de un efluente de aguas residuales tratadas. La reutilización indirecta del agua, tiene un rol nada despreciable en las regiones densamente pobladas del centro de Europa, debido al uso de los grandes ríos europeos, como el Rin o el Danubio, como cuerpos de agua receptor para las plantas depuradoras y, al mismo tiempo, fuente de agua cruda para el suministro de agua potable. Asimismo, en las regiones densamente pobladas, se encuentran en los numerosos cuerpos de agua superficial, sustancias típicas para aguas residuales. El cierre de facto del ciclo de agua entre las aguas residuales tratadas y el agua potable representa un tipo de "reutilización indirecta y no planeada" del agua y que no forma parte de los temas considerados en este volumen.

Los llamados conceptos alternativos de saneamiento, basados en la separación de las aguas residuales de diversos flujos (negro, marrón, amarillo y gris-agua), no están incluidos en la matriz. En este punto, se remite a la literatura sobre estos temas.

5.3 Estructura de la Matriz y explicación de términos

La evaluación completa de la matriz se muestra en el anexo; que está dividido en cinco cuadros que contienen las diversas tecnologías agrupadas temáticamente.

La matriz está estructurada de forma que varios pasos del proceso del tratamiento de reutilización de las aguas, están representados en las columnas y los parámetros de evaluación figuran en las líneas. El encabezamiento (line headings) con los parámetros de evaluación se muestra en la Tabla 1.

La evaluación se lleva a cabo a través de categorías tales como “alto”, “medio” y “bajo” y es parcialmente complementada con datos específicos claves, como p. ej., el consumo de energía, o el grado de eliminación de algunos parámetros propios de las aguas residuales. Los detalles están basados en análisis de las fuentes que figuran en las referencias, así como también en estimaciones de los miembros del equipo de trabajo. Las cifras detrás de cada campo indican la fuente pertinente; la leyenda asociada, se encuentra al final del anexo.

Tabla 1: Encabezamiento con parámetros de evaluación

Aspecto		Line		
Riesgo de salud	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	1		
	Usuarios del agua reutilizada	2		
Eficiencia económica	Costos de inversión	Superficie requerida	3	
		Ingeniería estructural	4	
		Ingeniería mecánica	5	
		Tecnología E+MCR	6	
	Costos de operación	Requerimiento de personal/costos	7	
		Requerimientos de energía/costos	8	
		Eliminación de residuos	9	
		Materiales de operación (precipitantes, etc)	10	
	Costos de mantenimiento preventivo	11		
Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente	Emisión de CH ₄	12		
	Olores molestos	13		
	Sonido/ruido molestos	14		
	Aerosoles	15		
	Insectos (gusanos, moscas, etc.)	16		
Requisitos del personal operativo	Operabilidad/gastos de funcionamiento	17		
	Gastos de mantenimiento preventivo	18		
	Capacitación necesaria para el personal operativo	19		
Tecnología de la planta	Grado de mecanización	20		
	Robustez	21		
	Estabilidad del proceso	22		
	Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente	23		
		Eliminación de DBO y DQO	24	
		Reducción de SST (sólidos suspendidos)	25	
	Eliminación de nutrientes	Amonio	26	
		Nitrato	27	
		Fósforo	28	
	Calidad de efluente (eficacia del tratamiento)	Reducción de patógenos	Virus	29
			Bacterias	30
			Protozoos	31
			Helmintos	32
		Color/Olor	33	
		Turbidez residual	34	
	Salinidad debida al tratamiento	35		
	Acumulación de residuos	36		
Tecnologías de irrigación	Riego de la raíz	37		
	Riego por goteo	38		
	Sistema de aspersión/aerosol	39		
	Inundación	40		
Tipos de uso	Riego agrícola	41		
	Agua no potable (enjuague de inodoros)	42		
	Usos urbanos (irrigación, agua de apagado)	43		
	Irrigación forestal	44		

En las siguientes secciones, son descritas las líneas individuales de la matriz, que contienen los parámetros de la evaluación y son definidas las categorías de evaluación utilizadas.

5.3.1 Líneas 1 – 2 “Riesgos de Salud”

El riesgo de salud para el personal operativo de la planta de tratamiento de agua y también para los usuarios del agua reutilizada es evaluado cualitativamente de acuerdo a las siguientes categorías:

Categoría	Observaciones
Alta	P. ej. manejo de sustancias químicas “peligrosas”
Media	Puede ser necesaria la desinfección
Baja	Si se emplea sólo en la fase de pretratamiento

5.3.2 Líneas 3-6 “Eficiencia económica – costos de inversión”

Los detalles acerca de la eficiencia económica son de naturaleza general y comparativa. La clasificación en “bajo” – “medio” – “alto” está destinada a hacer posible una primera comparación gruesa del proceso. Estas categorías se determinan y establecen límites al uso de los indicadores alemanes:

Categoría	Observaciones
Alta	costos > 1,000 €/EW a (equivalentes per capita por año) superficie requerida > 1 m ² /EW
Media	costos > 600 a 1,000 €/EW a superficie requerida > 0.3 a 1 m ² /EW
Baja	costos ≤ 600 €/EW a superficie requerida ≤ 0.3 m ² /EW

En gran medida, se puede dispensar de la provision de los índices concretos, ya que con frecuencia, no son transferibles. La determinación de las inversiones y de los gastos de funcionamiento se llevará a cabo a partir de cero para cada proyecto, y con gran minuciosidad, ya que la eficiencia económica es uno de los factores decisivos para la evaluación. No obstante, la experiencia demuestra que los costos pueden variar significativamente, tanto de un país a otro, como también de un lugar a otro dentro de un mismo país. Llegados a este punto, nos debemos referir a las siguientes condiciones secundarias:

- Las condiciones de mercado y la situación de la competencia en el lugar o en el país concreto,
- Las especificaciones detalladas acerca de la tecnología seleccionada,
- La relación de la ingeniería estructural con la ingeniería mecánica y/o equipos en la tecnología seleccionada,
- La cuota de los costos laborales dentro de la inversión y los costos operativos en países con bajo nivel de sueldos,
- La disponibilidad o bien los costos de adquisición de los recursos de operación (energía, piezas de repuesto, bienes fungibles, sustancias químicas, etc.),
- La necesidad de mantener y/o movilizar personal altamente calificado, destinado al mantenimiento preventivo y al mantenimiento en general.

Los costos de inversión se divide en la matriz de evaluación en las áreas de superficie requerida, la ingeniería estructural, ingeniería mecánica y E+MCR (tecnología electrónica, de medición, control y regulación). Según los números dados hasta ahora, la superficie requerida viene dada en m^2/EW , (equivalentes per capite) ya que el precio básico es específico en cada país.

Fundamentalmente, en lo relativo a las comparaciones cuantitativas, hay que señalar que algunas medidas de tratamiento se han diseñado según la carga y otras, de acuerdo a la capacidad hidráulica. De acuerdo con ello, los costos de inversión se dan normalmente sobre la base del número de habitantes y de la población equivalente en €/EW (1 EW = equivalente habitante = Carga contaminante normal de aguas domiciliarias por habitante y equivalentes de aguas industriales por población) o sobre la base de la producción hidráulica por tiempo en $€/m^3/h$. Una conversión es razonable sólo frente a una extensión limitada y es posible de asumir únicamente bajo la premisa de una descarga específica por equivalente habitante.

5.3.3 Línea 7-11 “Eficiencia económica – costos de operación”

Las observaciones generales realizadas acerca de los costos de inversión, se aplican análogamente a los costos de operación de los procesos enfocados, y se dividen de la siguiente manera:

- Costos de personal y/o requerimientos de personal,
- Costos de energía y/o requerimientos de energía,
- Costos de eliminación de los residuos (presumiblemente bajo las condiciones que rigen en Alemania),
- Costos de agentes de operación tales como precipitantes y floculantes u otros productos químicos,
- Costos de mantenimiento preventivo.

Los valores numéricos dados, se refieren a las condiciones para las nuevas plantas establecidas en Alemania. De acuerdo a los comentarios sobre los costos de inversión, no son directamente transferibles a otros países.

Para algunos procesos, los costos operativos globales en Euros/metro cúbico de agua tratada, vienen dados de acuerdo a las siguientes categorías:

Categoría	Observaciones
alta	costos $> 0.4 \text{ €/m}^3$ y $\leq 0.8 \text{ €/m}^3$
media	costos > 0.06 a 0.4 €/m^3
baja	costos $\leq 0.06 \text{ €/m}^3$

La energía necesaria se da en kilowatt/horas (kWh) por metro cúbico de agua tratada. Estos valores son independientes de los países y, por tanto, directamente transferibles. Las siguientes son las categorías que se dan para los requerimientos de energía:

Categoría	Observaciones
alta	energía necesaria $> 0.02 \text{ kWh/m}^3$ y $\leq 0.2 \text{ kWh/m}^3$
media	energía necesaria > 0.002 a 0.02 kWh/m^3
baja	energía necesaria $\leq 0.002 \text{ kWh/m}^3$

3.4 Líneas 12-16 “Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente”

Las cargas ambientales en la operación de plantas de tratamiento de agua se evalúan cualitativamente sobre la base de los siguientes criterios:

- La emisión de CH₄ (o emisión de gases perjudiciales para el clima),
- Olores molestos,
- Sonido/ruido,
- Aerosoles,
- Insectos (gusanos, moscas, mosquitos etc.).

Categoría	Observaciones
Alta	alta carga ambiental
media	mediana carga ambiental
Baja	baja carga ambiental

5.3.5 Líneas 17-19 “Requisitos del personal operativo de la planta”

El nivel actual de formación del personal, en muchos países en desarrollo y en mercados emergentes, constituye un factor limitante para la selección de posibles tecnologías de tratamiento del agua. En la matriz de evaluación los requisitos sobre el personal, en lo que se refiere a una operación controlada de cada proceso de tratamiento, se evalúa basado en los siguientes criterios:

- Operatividad y/o gastos de funcionamiento,
- Gasto de mantención preventiva,
- Capacitación necesaria para el personal operativo.

Categoría	Observaciones
Alta	requerimientos altos
Media	requerimientos medianos
Baja	bajos requerimientos

5.3.6 Líneas 20-36 “tecnología de la planta”

El amplio término “tecnología de la planta” comprende el conjunto de los detalles técnicos de los respectivos procesos, en particular en lo referente a la eficacia del tratamiento. Además de los datos numéricos entregados por la literatura, se utiliza igualmente categorías de evaluación cualitativa, a las que nos referimos a continuación.

La calidad del agua tratada y/o la eficacia del tratamiento, son evaluados mediante los siguientes parámetros de aguas residuales en relación con el grado de eliminación:

- Demanda química de oxígeno DQO y demanda biológica de oxígeno (DBO), (compuestos de carbono orgánico)
- Sólidos Totales en Suspensión SST (sustancias filtrables, materia sólida, sólidos suspendidos)
- Nutrientes (amonio, nitrato, fósforo),
- Patógenos (bacterias, virus, protozoos, helmintos).

Tratamiento de aguas residuales para su reutilización

En la matriz, se presenta el grado de eliminación en [%], la concentración en el agua tratada en [mg/l] logrado después del tratamiento, la reducción de patógenos se da en bloques o escalas de logaritmos (log-steps). Se distinguen las siguientes categorías:

Categoría	observaciones
Alta	grado de eliminación > 70 % o 4 – 6 log steps
Media	grado de eliminación 30 – 70 % o 2 – 3 log steps
Baja	grado de eliminación < 30 % o hasta 2 log steps
no tiene influencia	grado de eliminación < 5 %
no es relevante	p. ej. si se emplea solamente para el tratamiento posterior

Se recurre a parámetros complementarios para la descripción cualitativa de las propiedades y el estado del agua tratada:

- Color y olor,
- Turbidez residual,
- Salinidad del agua, debida al tratamiento.

Categoría	Observaciones
Alta	el agua tratada muestra una alta coloración residual/odoración/turbidez residual
Media	el agua tratada muestra una coloración media/odoración/ turbidez residual
baja	el agua tratada muestra una coloración baja/odoración/ turbidez residual
No tiene influencia	---

Se recurre a otros parámetros no cuantificables para la descripción directa de la tecnología de las plantas que podrán ser evaluados en forma cualitativa y comparativa:

- El grado de mecanización,
- Robustez (vitalidad),
- Estabilidad del proceso,
- Influencia de los aspectos operativos en la calidad del efluente.

Categoría	Observaciones
alta	de grado más alto
media	de grado mediano
baja	de grado más bajo

La acumulación de residuos, debida al proceso de tratamiento, se evalúa de la siguiente manera:

Categoría	Observaciones
alta	> 80 a 110 l/(EW·a) (equivalentes habitante por año) lodo deshidratado para ser eliminado
media	> 40 a 80 l/(EW·a) lodo deshidratado para ser eliminado
baja	hasta 40 l/(EW·a) lodo deshidratado para ser eliminado
No hay acumulación	---

5.3.7 Líneas 37-40 “Tecnología de irrigación”

En el caso de la utilización como agua de riego, se indica, para cada proceso de tratamiento, si el agua tratada puede ser empleada con las tecnologías de irrigación mencionadas.

En general, la concentración de materia sólida (p. ej. expresada en el índice de materias secas y sólidas o contenido de DS) para la irrigación que se realiza con elementos muy finos o boquillas de pulverización (como en el caso del riego de raíz o por goteo), tiene que ser muy pequeña y por lo tanto, la filtración puede ser recomendable o bien, necesaria.

Si se utiliza tecnologías de riego en las que se desarrolla y distribuye finas gotas y partículas de aerosol (p. ej. a través del sistema de aspersión), el agua tratada, debe ser desinfectada con el fin de minimizar los riesgos para la salud, p. ej., de los trabajadores y de los vecinos de las plantaciones.

Categoría	Observaciones
adecuado	es posible; sin embargo, serán necesarias limitaciones debido a la filtración o desinfección
menos adecuado	Requiere filtración
No adecuado	---
No relevante	p. ej. si sólo se efectúa el empleo como pretratamiento

5.3.8 Líneas 41-44 “Utilización de las opciones”

Para saber si la utilización del agua tratada es posible y/o recomendable para los fines concretos, las siguientes líneas han sido detalladas para cada proceso de tratamiento, de acuerdo con las siguientes categorías,:

Categoría	Observaciones
recomendada	---
posible	---
no recomendada	---
no es posible	---

Referencias

- AL-SABBAN, A. (2005): Presentation in Arabic by HE Ahmed Al-Sabban, Deputy Minister for Planning and Development, Ministry of Islamic Affairs, Kingdom of Saudi-Arabia, at the conference "Middle East Water Reuse", 27./28.11.2005, Abu Dhabi, VAE, arranged by the Wirtschafts-Zeitschrift MEED
- ANGELAKIS, A.; THAIRS, T.; LAZAROVA, V. (2001): Water Reuse in EU Countries: Necessity of Establishing EU-Guidelines, State of the Art Review, Report of the EUREAU Water Reuse Group EU2-01-26
- ALCALDE, L.; ORON G.; MANOR, Y.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. (2004): Wastewater reclamation and reuse for agricultural irrigation in arid regions: The experience of the city of Arad, Israel, Israeli-Palestinian International Conference on Water for Life, Antalya, Turkey, Oct. 2004, <www.ipcri.org>
- AQUAREC (2006): Water Reuse System Management Manual, AQUAREC (Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater), Editors: Davide Bixio and Thomas Wintgens, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2006, ISBN 92-79-01934-1, short version on <www.aquarec.org>
- ASANO, T. (2007): Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, McGraw-Hill, 1. Edition, March 2007, ISBN: 978-0-07-145927-3
- ATV-M 205E (1998): Disinfection of Biologically Treated Wastewater, Issue July 1998, German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA), Hennef, Germany
- ATV-DVWK-A 131E (2000): Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants, Issue May 2000, German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA), Hennef, Germany
- BARJENBRUCH, M.; AL JIROUDI, D. (2005): Erfahrungen aus dem Vergleich von Kleinkläranlagen auf dem Demonstrationsfeld in Dorf Mecklenburg [Experiences from the comparison of small wastewater treatment plants on the demonstration field in the village of Mecklenburg]. In: GWF Wasser Abwasser, Vol. 146, No. 5, 2005, p. 400-407
- BFAI – BUNDESAGENTUR FÜR AUßENWIRTSCHAFT (2007): Wassermanagement und Wassertechnik im Nahen und Mittleren Osten und in Nordafrika [Water management and water engineering in the Middle East and North Africa], 2007, Bundesagentur für Außenwirtschaft, ISBN: 3-86643-495-2
- CORNEL, P. (2006): Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen (A-Kohle, Oxidations-, Desinfektionsverfahren u. a.) [Advanced treatment of wastewater treatment plant outfalls (Active carbon, oxidation and disinfection processes and similar)], DWA Water Management Course M 2 dated 11.-13. October 2006, ISBN 3-939057584
- CORNEL, P.; MEDA, A.; HUBER, H. (2007): Development of a Matrix as a Decision Support Mechanism for Comparison and Evaluation of Technologies in Water Reuse Applications. In: Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser (GWA), Bd. 206, Advanced Sanitation, Publ.: Inst. für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, März 2007, ISBN: 978-3-938996-12-6, p. 28/1-28/9
- CORNEL, P.; MEDA, A. (2008): Water reuse situation in Central Europe: the current situation. In: Water Reuse: An International Survey, Contrasts, issues and needs around the world, Editors: Blanca Jimenez and Takashi Asano, IWA Publishing, London, planned publication date: 1.2.2008, ISBN: 1843390892
- DIN 19650 (1999): Irrigation – hygienic concerns on irrigation water, Issue: February 1999, Beuth Verlag, Berlin
- DWA-LANDESVERBAND BAYERN (2005): Kanal- und Kläranlagennachbarschaften, Fortbildung des Betriebspersonals 2005 [Sewer and wastewater treatment plant neighbourhoods, Further training of operating personnel], München, ISBN 3887210581
- DWA-A 262 (2006) (Not available in English): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur Reinigung kommunalen Abwassers [Principles for Dimensioning, Construction and Operation of planted Soil Filters for Treatment of Municipal Wastewater], Issue: March 2006, German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA), Hennef, Germany
- EMWIS (2007): Final report on wastewater reuse – Annex B – Case studies, Nov. 2007, Ergebnisse der Arbeitsgruppe Abwasserwiederverwendung, Euro-Mediterranean Information System on Know-how in the Water Sector, <www.emwis.net/topics/waterreuse>
- ENGELHARDT, N. (2006): Die Membranbelebungsanlage Nordkanal [The membrane activated sludge plant Nordkanal], Wiener Mitteilungen, Band 195, Betriebserfahrungen moderner Kläranlagen, ISBN 3852340861
- FRECHEN, F. B. (2006): Leistung und Kosten des Membranbelebungsverfahrens [Performance and costs of the membrane aeration process], DWA WasserWirtschafts-Kurs M/2 vom 11.-13. October 2006, ISBN 3-939057584
- GRÜNEBAUM, T.; WEYAND, M. (1995): Reduzierung der Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung [Reduction of the operating costs with wastewater treatment], 47. Darmstädter Seminar – Abwassertechnik – 15 November 1995, Schriftenreihe WAR, Band 86, TH Darmstadt, ISBN 3-923419791, p. 155-178
- GÜNDER, B. (2001): Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserbehandlung, Kommunale Kläranlagen [The membrane aeration process in municipal wastewater treatment, municipal wastewater treatment plants], 2nd Edition, Technische Akademie Esslingen, Expert Verlag, ISBN 3816919944, p. 173-192
- GÜNTHERT, F. W.; REICHERTER, E. (2001): Investitionskosten der Abwasserreinigung [Investment costs for wastewater treatment], Oldenbourg Industrieverlag GmbH, ISBN 3486265075
- GTZ – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit mbH, Emscher Gesellschaft für Wassertechnik mbH (2006): Ausbildungsprogramm ONA, Algerien (PPP-Maßnahme), Schlussdokumentation, Zeitraum: 01.01. – 31.12.2006 [Training programme ONA, Algeria (PPP measures), Final document, period 01.01. – 31.12.2006], Komponente 3 des Programms der Technischen Zusammenarbeit „Integrierte Wasserwirtschaft Algerien“

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Fourth Assessment Report, Summary for Policymakers, Working Group II of the IPCC, Brussels, April 2007
- IRC – International Water and Sanitation Centre (2004): Waste stabilization ponds for wastewater treatment, <<http://www.irc.nl/page/8237>>
- JIMENEZ, B.; ASANO, T. (2008): Water Reuse: An International Survey, Contrasts, issues and needs around the world, Editors: Blanca Jimenez and Takashi Asano, IWA Publishing, London, 2007, planned publication date: 1.2.2008, ISBN: 1843390892
- LABER, J. (2001): Bepflanzte Bodenfilter zur weitergehenden Reinigung von Oberflächenwasser und Kläranlagenabläufen [Planted soil filters for advanced treatment of surface waters and wastewater treatment plant effluents], Wiener Mitteilungen, Band 167, ISBN 3-85234-058-6
- LENZ, G. (2004): Qualifikation des Betriebspersonals auf Kläranlagen [Qualification of operating personnel in wastewater treatment plants], Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- LÜTZNER, K. (2002): Ein Beitrag zur Bilanzierung von Bodenfiltern [A contribution for the balancing of soil filters], Dresdner Berichte 21, TU Dresden, ISSN 1615083X
- MED-EUWI – Mediterranean EU Water Initiative (2007): Mediterranean Wastewater Reuse Report, Joint Mediterranean EIWI/WFD Process, Produced by the Mediterranean Wastewater Reuse Working Group, Nov. 2007, <<http://www.emwis.net/topics>>
- MURL – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW (1999): Handbuch – Energie in Kläranlagen [Manual – Energy in wastewater treatment plant], Düsseldorf, September 1999
- NOWAK, J. (2005): Abwasserbehandlung in bepflanzten Bodenfiltern [Wastewater treatment in planted soil filters] – Arbeitsblatt DWA-A 262 (Bemessung, Bau und Betrieb), 2005, DWA WasserWirtschafts-Kurs L/6 Abwasserentsorgung im ländlichen Raum, ISBN 3-939057002
- ORTH, H. (2005): Länderbericht USA. In: Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern, Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452, Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung [Country Report USA. In: Requirements on wastewater technology in other countries, Final Report on BMBF Project 02WA0452], Publ.: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Bochum, ISBN: 3-9810255-0-4
- RUDOLPH, K.-U.; SCHÄFER, D. (2001): Untersuchungen zum internationalen Stand und der Entwicklung Alternativer Wassersysteme [Investigations into the international status and the development of alternative water systems], Publ.: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF-Forschungsvorhaben 02WA0074, October 2001
- RUHRVERBAND (1992): Seminar über Schönungsteiche [Seminar on polishing ponds] am 19. November 1992 beim Ruhrverband in Essen
- SALA, L.; MUJERIEGO, R.; SERRA, M.; ASANO, T. (2002): Spain sets the example, Water 21, August 2002, p. 18–20
- SCHLEYPEN, P. (2005): Isar-Badegewässerqualität [Isar – bathing water quality. Presentation], Vortrag beim Wasserwirtschaftlichen Kolloquium an der Universität der Bundeswehr München
- SCHNEIDER, T. (2005): Länderbericht Jordanien. In: Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern, Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452 [Country Report Jordan. In: Requirements on wastewater technology in other countries, Final Report on BMBF Project 02WA0452], Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung, Hrsg.: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Bochum, ISBN: 3-9810255-0-4
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Kap. 12.4 in Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2006 [Water supply and wastewater disposal, Chap. 12.4 in the Statistical Yearbook for the Federal Republic of Germany], Statistisches Bundesamt Deutschland, ISBN-13: 978-3-8246-0773-0
- STROHMEIER, A. (1998): Filtrationsanlagen, Kommunale Kläranlage [Filtration systems, municipal wastewater treatment plants], Technische Akademie Esslingen, Expert Verlag, ISBN 3816914063, p. 246–266
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2006): Water – A Shared Responsibility, The United Nations World Water Development Report 2, UNESCO Publishing, Paris/Berghahn Books, New York, ISBN: 978-92-3-104006-1
- UNEP – United Nations Environment Programme (2007): Global Environment Outlook: Environment for Development (GEO-4), <www.unep.org/geo/geo4/>
- VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. (2006): Wastewater treatment in warm climates, Water 21, April 2006
- WEDI, D.; WILD, W.; RESCH, H. (2005): Betriebsergebnisse der MBR Monheim – Abwasserreinigung und Erhalt der Permeabilitäten mittels chlorfreier chemischer Reinigung [Operating results of the MBR Monheim – Wastewater treatment and maintenance of the permeability using chlorine-free chemical treatment]. In: Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung – Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland, 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, Aachen 2005, Beitrag A9, Publ.: T. Melin, J. Pinnekamp, M. Dohmann, ISBN 3-86130-775-8
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey-water, World Health Organization, Geneva, 2006, published in four volumes.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006a): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey-water, Volume 2: Wastewater use in agriculture, World Health Organization, Geneva, 2006, ISBN: 92-4-154683-2

Anexo Matriz de Evaluación de los pasos del tratamiento para la reutilización del agua

Tratamiento mecánico

Aspecto	Linea N°	Tratamiento mecánico			Sedimentación	sin floculación	
		con precipitación/floculación	Screening / Tamizado sin precipitación/floculación	micro lamizado 10 µm			
Riesgo de salud	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	25 medio	25 bajo	27 bajo	28 medio	28	
	Usuarios del agua reutilizada	25 bajo (solo como pretratamiento)	25 bajo (desinfección es necesaria)	27 bajo (solo como pretratamiento)	28 medio	28	
	Eficiencia económica	Superficie requerida	25 bajo (400-1000 €/m ² /h-floculación)	25 bajo (solo como pretratamiento)	27 bajo (0.04-0.06 m ² /PT)	6 bajo (0.02-0.04 m ² /PT)	6
		Ingeniería estructural	25 bajo	25 bajo	27 bajo (250-1000€/PT tanque de asiento + 1.50€/PT precipitación)	3 medio (250-1000€/PT tanque de asiento)	3
		Ingeniería mecánica	25 bajo	25 bajo	27 bajo	34 bajo	34
Tecnología E+WCR		25 bajo	25 bajo	27 bajo	34 bajo	34	
Eficiencia operativa	Requerimiento de personal/costos	25 bajo	25 bajo	27 bajo	34 bajo	34	
	Requerimientos de energía/costos	27 medio (0.009-0.013 kWh/m ³)	27 medio (0.009-0.013 kWh/m ³)	27 bajo (-0.002 kWh/m ³)	5 bajo (-0.001 kWh/m ³)	5	
	Eliminación de residuos	25 alto	25 bajo (no materiales operativos)	27 bajo	34 medio	34	
	Materiales de operación (precipitantes)	10 alto	25 bajo	27 bajo	34 bajo (recursos no operacionales)	34	
	Costos de mantenimiento preventivo	11 bajo	25 bajo	27 bajo	34 bajo	34	
	Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente	Emisión de CH ₄	ninguno	25 ninguno	27 ninguno	bajo (solo con un tiempo largo de sedimentación, a través de la degradación anaeróbica, es posible la formación de metano ligero)	30
		Olores molestos	13 alto	29 alto	29 bajo	29 medio	29
		Sonido / ruido molestos	14 bajo	29 bajo	29 bajo	29 bajo	29
		Aerosoles	15 bajo	29 bajo	29 medio	29 bajo	29
		Insectos (gusanos, moscas, etc.)	16 alto	29 alto	29 bajo	29 medio	29
		Operabilidad / gastos de funcionamiento	17 medio	31 bajo	31 medio	31 medio	31
Gastos de mantenimiento preventivo		18 medio	31 bajo	31 medio	31 bajo	31	
Capacitación necesaria para el personal operativo		19 medio	29 bajo	29 medio (se requiere personal entrenado)	27 medio	29 bajo	29
Robustez		20 bajo/medio	25 bajo	25 alto	27 medio	27 bajo	27
Estabilidad del proceso		21 alto	25 alto	25 medio	27 alto	27 alto	27
Tecnología de la planta	Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente	22 alto	25 alto	25 medio	27 alto	27	
	Tipos de uso	Eliminación de DBO y DQO	24 medio (max. 60%)	25 bajo (max. 25%)	27 bajo (max. 25%)	6 (55-75% DQO, 45-60% DBO)	6
		Reducción de SST (sólidos suspendidos)	25 alto (maximo 95%)	25 alto (85%)	27 medio	6 (25-55% COD, 30-35% BOD)	6
		Eliminación de Amonio	26 bajo (aprox. 10%)	34 bajo (aprox. 10%)	34 bajo	6 bajo (< 30%)	6
		Nitrato	27 no tiene influencia (0%)	25 no tiene influencia (0%)	27 no tiene influencia (0%)	34 no tiene influencia (0%)	3
		Fosforo	28 alto	25 bajo (< 10%)	25 bajo	6 medio/bajo (< 35%)	6
		nutrientes	29 bajo	34 bajo	34 no hay detalle	1 bajo (0-1 log steps)	1
		Reducción de Virus	30 bajo	34 no hay detalle	27 bajo (1-2 log steps)	1 bajo (0-1 log steps)	1
		Bacterias	31 bajo	34 no hay detalle	27 bajo (1-2 log steps)	1 bajo (0-1 log steps)	1
		Protozoos	32 bajo	34 no hay detalle	27 bajo (1-3 log steps)	1 bajo (0-1 log steps)	1
Helminthos		33 no tiene influencia	25 no tiene influencia	27 no tiene influencia	bajo (con tiempos de sedimentación más largos, es posible que, un proceso de degradación anaerobio, se produzca olor)	30	
Tecnologías de irrigación	Color/Olor	34 bajo	25 medio	27 bajo	34 medio	34	
	Turbidez residual	35 medio (más salado a través de precipitantes)	25 no tiene influencia	27 no tiene influencia	30 no tiene influencia	30	
	Salinidad debida al tratamiento	36 medio (especifico de cada país, 15-70 (IEW a))	27 medio (especifico de cada país, 15-60 (IEW a))	27 bajo	6 bajo (330-730 (PT a) no estabilizado, liquido o 15-40 (PT a) todo deshidratado)	6	
	Acumulación de residuos	37 no apropiado	25 no apropiado	27 no apropiado	10 no apropiado	10	
	Riego por goteo	38 no apropiado	25 no apropiado	27 no apropiado	10 no apropiado	10	
Tipos de uso	Sistema de aspersión / aerosol	39 apropiado (requiere desinfección)	25 no apropiado	27 apropiado (requiere desinfección)	10 apropiado (requiere desinfección)	10	
	Inundación	40 apropiado	25 apropiado	27 apropiado	10 apropiado	10	
	Riego agrícola	41 posible	29 no se recomienda	27 posible	29 posible	29	
	Agua no potable (enjuague de inodoros)	42 no se recomienda	25 no es posible	27 no se recomienda	29 no es posible	29	
Irrigación forestal	Uscs urbanos (irrigación, agua de apagado)	43 no se recomienda	25 no es posible	27 no se recomienda	29 no es posible	29	
	Irrigación forestal	44 posible	25 posible	27 posible	29 posible	29	

Lagunas de estabilización, reservorios de aguas residuales y tanques de tratamiento

Aspecto	Línea N°	Lagunas de estabilización		Reservorios de aguas residuales y tanques de tratamiento		
		aireado/aeróbico con estanque de sin aire, anóxico, anaerobio	estancos de pulido aguas abajo	estancos de pulido aguas abajo	Reservorios de aguas residuales y tanques de tratamiento	
Riesgo de salud	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Usuarios del agua reutilizada	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Eficiencia económica	Superficie requerida	26 33	26 33	26 33	26 33
		Ingeniería estructural	26 33	26 33	26 33	26 33
		Ingeniería mecánica	26 33	26 33	26 33	26 33
		Tecnología E+MCR	26 33	26 33	26 33	26 33
		Requerimiento de personal/costos	26 33	26 33	26 33	26 33
		Requerimiento de energía/costos	26 33	26 33	26 33	26 33
		Eliminación de residuos	26 33	26 33	26 33	26 33
		Materiales de operación (precipitantes)	26 33	26 33	26 33	26 33
		Costos de mantenimiento preventivo	26 33	26 33	26 33	26 33
Costos de mantenimiento preventivo		26 33	26 33	26 33	26 33	
Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente	Emisión de CH ₄	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Olores molestos	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Sonido / ruido molestos	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Aerosoles	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Insectos (gusanos, moscas, etc.)	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Operabilidad / gastos de funcionamiento	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Gastos de mantenimiento preventivo	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Capacitación necesaria para el personal operativo	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Robustez	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Estabilidad del proceso	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente	26 33	26 33	26 33	26 33	
Requisitos del personal operativo	Eliminación de DBO y DCO (65-80% DOO, 75-85% DBO)	6	6	26 33	10	
	Reducción de SST (sólidos suspendidos)	6	6	26 33	10	
	Amonio	6	6	26 33	10	
	Eliminación de nutrientes	6	6	26 33	10	
	Nitrato	6	6	26 33	10	
	Fosforo	6	6	26 33	10	
	Virus	1	1	26 33	1	
	Bacterias	1	1	26 33	1	
	Protozoos	1	1	26 33	1	
	Helminthos	1	1	26 33	1	
	Color/Olor	26 33	26 33	26 33	26 33	
Tecnología de la planta (eficacia del tratamiento)	Turbidez residual	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Salinidad debida al tratamiento	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Acumulación de residuos	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Riego por goteo	10	10	10	10	
	Sistema de aspersion / aerosol	10	10	10	10	
	Inundación	10	10	10	10	
	Riego agrícola	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Agua no potable (enjuague de inodores)	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Usos urbanos (irrigación, agua de apagado)	26 33	26 33	26 33	26 33	
	Irrigación forestal	26 33	26 33	26 33	26 33	

UASB (biorreactor de manto de barro), proceso de lodos activados, filtro de percolación, lagunas con macrofitas

Aspecto	Linea	UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor)	Proceso de lodos activados		Filtro de percolación	Laguna con macrofitas
			Eliminación del carbono	Eliminación de nutrientes		
Riesgo de salud	1	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	28	28	28	28
	2	Usuarios del agua reutilizada	28	28	28	28
	3	Superficie requerida	28	28	28	28
	4	Ingeniería estructural	6	6	6	6
	5	Ingeniería mecánica	2	2	2	2
	6	Tecnología E-MCR	30	30	30	30
	7	Requerimiento de personal/costos	30	30	30	30
	8	Requerimientos de energía/costos	30	30	30	30
	9	Eliminación de residuos	30	30	30	30
	10	Materiales de operación (precipitantes, etc.)	30	30	30	30
	11	Costos de mantenimiento preventivo	32	32	32	32
Eficiencia económica	12	Emisión de CH ₄	30	30	30	30
	13	Olores molestos	30	30	30	30
	14	Sonido / ruido molestos	30	30	30	30
	15	Aerossol	30	30	30	30
	16	Insectos (gusanos, moscas, etc.)	30	30	30	30
	17	Operabilidad / gastos de funcionamiento	30	30	30	30
	18	Gastos de mantenimiento preventivo	30	30	30	30
	19	Capacitación necesaria para el personal operativo	30	30	30	30
	20	Grado de mecanización	27	27	27	27
	21	Robustez	27	27	27	27
	22	Estabilidad del proceso	27	27	27	27
Requisitos del personal operativo	23	Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente	30	30	30	30
	24	Eliminación de DBO y DCO	30	30	30	30
	25	Reducción de SST (sólidos suspendidos)	6	6	6	6
	26	Amonio	6	6	6	6
	27	Nitrato	6	6	6	6
	28	Fosforo	6	6	6	6
	29	Reducción de Virus	3	3	3	3
	30	Bacterias	3	3	3	3
	31	Protozoos	1	1	1	1
	32	Helminetos	1	1	1	1
	33	Color/Olor	30	30	30	30
Tecnología de la planta	34	Turbidez residual	30	30	30	30
	35	Salinidad debida al tratamiento	30	30	30	30
	36	Acumulación de residuos	6	6	6	6
	37	Riego de la raíz	10	10	10	10
	38	Riego por goteo	10	10	10	10
	39	Sistema de aspersión / aerosol	10	10	10	10
	40	Inundación	10	10	10	10
	41	Riego agrícola	30	30	30	30
	42	Agua no potable (enjuague de inodoros)	30	30	30	30
	43	Usos urbanos (irrigación, agua de apagueo)	30	30	30	30
	44	Irrigación forestal	30	30	30	30
Tipos de uso	23	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	28	28	28	28
	24	Usuarios del agua reutilizada	28	28	28	28
	25	Superficie requerida	28	28	28	28
	26	Ingeniería estructural	6	6	6	6
	27	Ingeniería mecánica	2	2	2	2
	28	Tecnología E-MCR	30	30	30	30
	29	Requerimiento de personal/costos	30	30	30	30
	30	Requerimientos de energía/costos	30	30	30	30
	31	Eliminación de residuos	30	30	30	30
	32	Materiales de operación (precipitantes, etc.)	30	30	30	30
	33	Costos de mantenimiento preventivo	32	32	32	32
Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente	34	Emisión de CH ₄	30	30	30	30
	35	Olores molestos	30	30	30	30
	36	Sonido / ruido molestos	30	30	30	30
	37	Aerossol	30	30	30	30
	38	Insectos (gusanos, moscas, etc.)	30	30	30	30
	39	Operabilidad / gastos de funcionamiento	30	30	30	30
	40	Gastos de mantenimiento preventivo	30	30	30	30
	41	Capacitación necesaria para el personal operativo	30	30	30	30
	42	Grado de mecanización	27	27	27	27
	43	Robustez	27	27	27	27
	44	Estabilidad del proceso	27	27	27	27
Tecnologías de irrigación	23	Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente	30	30	30	30
	24	Eliminación de DBO y DCO	30	30	30	30
	25	Reducción de SST (sólidos suspendidos)	6	6	6	6
	26	Amonio	6	6	6	6
	27	Nitrato	6	6	6	6
	28	Fosforo	6	6	6	6
	29	Reducción de Virus	3	3	3	3
	30	Bacterias	3	3	3	3
	31	Protozoos	1	1	1	1
	32	Helminetos	1	1	1	1
	33	Color/Olor	30	30	30	30
34	Turbidez residual	30	30	30	30	
35	Salinidad debida al tratamiento	30	30	30	30	
36	Acumulación de residuos	6	6	6	6	
37	Riego de la raíz	10	10	10	10	
38	Riego por goteo	10	10	10	10	
39	Sistema de aspersión / aerosol	10	10	10	10	
40	Inundación	10	10	10	10	
41	Riego agrícola	30	30	30	30	
42	Agua no potable (enjuague de inodoros)	30	30	30	30	
43	Usos urbanos (irrigación, agua de apagueo)	30	30	30	30	
44	Irrigación forestal	30	30	30	30	

Filtración (aguas abajo), precipitación/floculación (aguas abajo) tecnología de membrana

Aspecto	Línea N°	Filtración (aguas abajo)		Precipitación/floculación (aguas abajo)		Proceso de separación con membrana			
		filtración rápida	filtro de arena lento	filtro con doble capa	aguas abajo)	Filtro UF/ Ultra /MF/ micro	Filtro NF/ Nano/RO/ osmosis		
Riesgo de salud	1	bajo	28	bajo	28	alto (manejo de sustancias químicas)	28	alto (manejo de sustancias químicas)	28
	2	medio (requiere desinfección)	28	medio (requiere desinfección)	28	medio (requiere desinfección)	28	bajo	28
	3	bajo	30	bajo	30	bajo	30	bajo	30
	4	bajo (25-60 €/EW)	11	bajo	11	bajo	12,13, 14, 15	alto	34
	5	bajo (25-60 €/EW)	11	bajo	11	bajo	32	alto (4000-8000 €/m³/h)	34
	6	bajo	11	bajo	11	bajo	32	alto	34
Eficiencia económica	7	bajo	11	bajo	11	bajo	32	alto	34
	8	bajo	33	bajo	33	bajo (-0.001 kWh/m³)	5	12,13 alto (0.45-0.70 \$/m³ desalinización)	10
	9	bajo	11	bajo	11	bajo	32	medio (0.26-0.46 €/m³)	14,15 desalinización
	10	bajo	11	bajo	11	bajo	32	12,13 alto	12,13 alto
	11	medio	11	medio	11	medio	32	12,13 alto	12,13 alto
	12	ninguno	30	ninguno	30	ninguno	30	ninguno	30
	13	bajo	27	bajo	27	bajo	30	bajo	30
	14	bajo	27	bajo	27	bajo	30	bajo	30
	15	bajo	27	bajo	27	bajo	30	bajo	30
	16	medio	27	medio	27	medio	30	ninguno	30
	17	medio	31	medio	31	medio	30	alto	30
	18	alto (se requiere personal capacitado)	27	alto (se requiere personal capacitado)	27	alto (se requiere personal capacitado)	30	alto (se requiere personal capacitado)	30
	19	bajo	27	medio	27	medio	27	alto	27
	20	medio	27	alto	27	alto	27	alto	27
	21	alto	27	alto	27	alto	27	alto	27
	22	alto	30	alto	30	alto	30	alto	30
	23	bajo (> 20% ó < 40 mg/l)	11	bajo (> 20% ó < 40 mg/l)	11	bajo (> 20% ó < 40 mg/l)	11	bajo	11
	Requisitos del personal operativo	24	medio/alta (> 50% ó < 5 mg/l)	11	medio/alta (> 50% ó < 5 mg/l)	11	medio/alta (> 50% ó < 5 mg/l)	11	alto (con todos activos, aprox. 88-96% ó DQO < 30 mg/l, DBO < 5 mg/l)
25		medio (< 5 mg/l)	11	medio (< 5 mg/l)	11	medio (< 5 mg/l)	11	alto (casi 100%)	12,13 no es relevante (solo tratamiento posterior)
26		alto (< 10 mg/l)	11	alto (< 10 mg/l)	11	alto (< 10 mg/l)	11	alto (con todos activos, aprox. 90% ó 0.1-2 mg/l)	12,13 no es relevante (solo tratamiento posterior)
27		medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	alto (con precipitación aprox. 90% ó 0.5-0.7 mg/l)	12,13 no es relevante (solo tratamiento posterior)
28		medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	medio (30% sin floculación)/ alto (aprox. 70% ó < 0.3 mg/l con floculación)	11	alto (2.5-> 6 log steps)	1
29		medio (1-3 log steps)	1	medio (1-3 log steps)	1	medio (1-3 log steps)	1	alto (3.5-> 6 log steps)	1
30		medio (0-3 log steps)	1	medio (0-3 log steps)	1	medio (0-3 log steps)	1	alto (> 6 log steps)	1
31		medio (0-3 log steps)	1	medio (0-3 log steps)	1	medio (0-3 log steps)	1	alto (> 6 log steps)	1
32		medio (1-3 log steps)	1	medio (1-3 log steps)	1	medio (1-3 log steps)	1	alto (> 3 log steps)	1
33		no tiene influencia	30	no tiene influencia	30	no tiene influencia	30	no tiene influencia	30
34		bajo	11	bajo	11	bajo	11	bajo	34
Tecnologías de la planta		35	no tiene influencia	30	no tiene influencia	30	no tiene influencia	30	no influye (pero tiene una concentración de sal demasiado alta para eliminarla como desecho)
	36	bajo	30	bajo	30	bajo	30	medio (más salado debido a precipitantes)	30
	37	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	bajo (550-1100/EW a estabilizado, fluido ó deshidratado)	medio (concentrado altamente salado para eliminarla como desecho)
	38	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	39	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	40	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	41	recomendable	27	recomendable	27	recomendable	27	recomendable	recomendable
	42	posible	27	posible	27	posible	27	posible	recomendable
	43	posible	27	posible	27	posible	27	posible	recomendable
	44	recomendable	27	recomendable	27	recomendable	27	recomendable	recomendable
Tipos de uso	37	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	38	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	39	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado
	40	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	10	apropiado	apropiado

Desinfección

Aspecto	Línea N°	Desinfección						Laguna de maduración	Cloro
		Membrana (ultrafiltración)	Ultravioleta	Ozono	Filtro de Suelo tentativa				
Riesgo de salud	Personal operativo en la planta de tratamiento de aguas	28 medio	26	26	28	28	bajo	28	Alto (manejo de sustancias químicas)
	Usuarios del agua reutilizada	28 bajo	28	28	28	28	bajo	26	bajo (solo en caso de sobreexposición)
Eficiencia económica	Superficie requerida	30 bajo	30	30	30	30	alto	30	bajo
	Ingeniería estructural	34	34	16	17	17	alto	18-19-20-21	bajo
	Ingeniería mecánica	34	34	26	32	32	bajo	18-19-20-21	medio (tecnología de seguridad)
	Tecnología E+MCR	34	34	26	32	32	bajo	18-19-20-21	bajo
	Requerimiento de personal/costos	7	7	7	7	7	bajo	18-19-20-21	22-23
	Requerimientos de energía/costos	7	7	7	7	7	bajo	18-19-20-21	22-23
	Eliminación de residuos	7	7	7	7	7	bajo	18-19-20-21	22-23
	Materiales de operación (precipitantes, etc)	7	7	7	7	7	bajo	18-19-20-21	22-23
	Costos de mantenimiento preventivo	7	7	7	7	7	bajo	18-19-20-21	22-23
	Emisión de CH ₄	12	ninguno	26	ninguno	26	ninguno	26	ninguno
	Efectos de la operación de la planta sobre el medio ambiente	Olores molestos	30	30	30	30	30	bajo	30
Sonido (ruido molestos)		30	30	30	30	30	ninguno	30	bajo
Aerodiscos		30	30	30	30	30	ninguno	30	ninguno
Insectos (avispas, moscas, etc.)		30	30	30	30	30	ninguno	30	ninguno
Operabilidad / Costos de funcionamiento		30	30	30	30	30	alto	30	alto
Gastos de mantenimiento preventivo		30	30	30	30	30	alto	30	alto
Capacidad necesaria para el personal operativo		30	30	30	30	30	bajo	30	alto (se requiere personal capacitado)
Robustez		27	27	27	27	27	medio	27	bajo
Estabilidad del proceso		27	27	27	27	27	medio	27	medio
Influenciabilidad operativa en la calidad del efluente		30	30	30	30	30	bajo	30	alto
Tecnología de la planta		Eliminación de DBO y DCO	30	30	34	30	34	alto (aprox. 85%)	18-19-20-21
	Reducción de SST (sólidos suspendidos)	26	26	34	30	34	alta (aprox. 90%)	18-19-20-21	baja (bídem)
	Amonio	26	26	34	30	34	alto (aprox. 80%)	18-19-20-21	baja (bídem)
	Nitrato	26	26	34	30	34	alto (aprox. 80%)	18-19-20-21	baja (bídem)
	Eliminación de nutrientes	26	26	34	30	34	bajo (10% no plantado o sembrado) / alto (70% no plantado o sembrado)	18-19-20-21	baja (bídem)
	Fósforo	26	26	34	30	34	no es relevante (solo para el tratamiento posterior)	18-19-20-21	bajo (reducción de cargas residual/espillero de las cargas máximas)
	Virus	1	1	1	1	1	medobajo (1.5-2.5 log steps)	1	medo (1-3 log steps)
	Bacterias	1	1	1	1	1	medobajo (1.5-2.5 log steps)	1	alto (2-6 log steps)
	Protozoos	1	1	1	1	1	medobajo (1.5-2.5 log steps)	1	bajo (0-1.5 log steps)
	Helminetos	1	1	1	1	1	medo (0-2 log steps)	1	medo (0-1 log step)
	Color/Olor	30	30	30	30	30	no tiene influencia	30	medo (agravamiento del olor y el sabor en caso de cloro residual en el agua)
Tipos de uso	Turbidez residual	34	34	34	34	34	no tiene influencia	30	no tiene influencia
	Salinidad debida al tratamiento	30	30	30	30	30	no tiene influencia	30	bajo
	Acumulación de residuos	30	30	30	30	30	bajo	30	ninguno
	Riego de la raíz	37	37	37	37	37	apropiado	30	ninguno
	Riego por goteo	39	39	39	39	39	apropiado	30	ninguno
	Sistema de aspersión / aerosol	40	40	40	40	40	apropiado	30	ninguno
	Inundación	41	41	41	41	41	recomendable	30	ninguno
	Riego agrícola	42	42	42	42	42	recomendable	30	ninguno
	Agua no potable (enjuague de inodoros)	43	43	43	43	43	recomendable	30	ninguno
	Usos urbanos (riregación, agua de apagado)	44	44	44	44	44	recomendable	30	ninguno
	Irigación forestal	44	44	44	44	44	recomendable	30	ninguno

Leyeda

No.	Source
1	WHO, 2006a
2	GÜNTHERT and REICHERTER, 2001
3	ATV-DVWK, 2000
4	DWA-Landesverband [Federal State Association] Bayern, 2005
5	MURL, 1999
6	VON Sperling and CHERNICHARO, 2006
7	ATV, 1998
8	GRÜNEBAUM and WEYAND, 1995
9	LENZ, 2004
10	ALCALDE et al., 2004
11	STROHMEIER, 1998
12	WEDI, 2005
13	ENGELHARDT, 2006
14	GÜNDER, 2001
15	FRECHEN, 2006
16	SCHLEYPEN, 2005
17	CORNEL, 2006
18	LABER, 2001
19	NOVAK, 2005
20	DWA, 2006
21	LÜTZNER, 2002
22	IRC, 2004
23	RUHRVERBAND, 1992
24	BARJENBRUCH and Al JIROUDI, 2005
25	Grupo de trabajo (joint assessment)
26	Tim FUHRMANN (personal assessment)
27	Hans HUBER (personal assessment)
28	Volker KARL (personal assessment)
29	Roland KNITSCHKY (personal assessment)
30	Alessandro MEDA and Peter CORNEL (personal assessment)
31	Hermann ORTH (personal assessment)
32	Holger SCHEER (personal assessment)
33	Florian SCHMIDTLEIN (personal assessment)
34	Christina SCHWARZ (personal assessment)
35	Martin MARGGRAFF (personal assessment)

Apéndice A Abreviaturas (no es parte de la versión alemana)

Nota del traductor:

Los principales términos empleados han permanecido sin cambios, ya que son reconocidos internacionalmente; las abreviaturas utilizadas corresponden a la traducción del parámetro individual alemán al español. Para simplificación y claridad han sido elegidas de manera que coincidan, en la medida de lo posible, con los índices alemanes. Donde esto no ha sido posible, el símbolo original en alemán ha sido colocado entre paréntesis después de la versión en español. Con tal procedimiento, no tenemos la intención de crear nuevos símbolos para la comunidad de ingenieros de habla español, sino que esto sirve únicamente para presentar los símbolos/índices usados en Alemania y hacerlos así comprensible a quienes no leen alemán.

Abreviaturas		Definición
Espanol	German	
DBO	[BSB]	<u>D</u> emanda <u>B</u> iologica de <u>O</u> xígeno
DQO	[CSB]	<u>D</u> emanda <u>Q</u> uímica de <u>O</u> xígeno
DS	[TS]	<u>D</u> ry <u>s</u> olids, materia seca y sólida
(EW)	[EW]	Carga contaminante normal de aguas domiciliarias por habitante y equivalentes de aguas industriales por población (equivalente per capita), <i>ingles: PT</i>
(E+MCR)	[E+MSR]	Tecnología electrónica, de medición, control y regulación
N _{tot}	[N _{ges}]	<u>t</u> otal <u>N</u> itrogen
SST	[AFS]	<u>S</u> suspended <u>S</u> olids, Sólidos en suspensión <u>t</u> otales