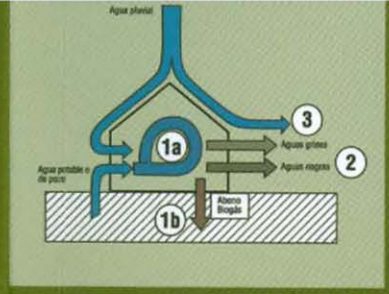


Margot Franken

Gestión de aguas

Conceptos para el nuevo milenio

Manejo sostenible del agua
por sistemas descentralizados
de suministro y evacuación de aguas
y cierre de ciclos naturales locales del agua

Margot Franken nació en 1948 en Alemania. Tiene estudios de biología, ecología, geología, oceanografía y limnología en la Universidad de Kiel, Alemania. Doctorado en Ciencias Naturales. Beca postdoctoral del Instituto Max Planck de Limnología, para investigaciones en la Unidad de Ecología Tropical, sobre cuerpos de agua de la selva amazónica.

Desde 1985, es docente investigadora de la Universidad Mayor de San Andrés, en el Instituto de Ecología. Organización y desarrollo de la Unidad de Limnología, del Laboratorio de Calidad Ambiental y de la Unidad de Calidad Ambiental. Ha realizado estudios de los cuerpos de aguas en Bolivia y sus perturbaciones antropogénicas. Es especialista en bioindicación, ecología urbana y manejo descentralizado de aguas, y especial interés en arquitectura ecológica.

Gestión de aguas

Conceptos para el nuevo milenio

Margot Franken

Gestión de aguas

Conceptos para el nuevo milenio

Manejo sostenible del agua
por sistemas descentralizados
de suministro y evacuación de aguas
y cierre de ciclos naturales locales del agua

instituto de ecologia
Heidehof Stiftung
LIDEMA
FUND-ECO
plural

© Margot Franken, 2007
© Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología, Plural editores, 2007

Primera edición: diciembre de 2007

DL: 4-1-2364-07
ISBN: 978-99954-1-114-5

Producción:
Plural editores
c/ Rosendo Gutiérrez N° 595, esquina Av. Ecuador
Teléfono 2411018 / Casilla 5097 / La Paz, Bolivia
E-mail: plural@plural.bo / www.plural.bo

Impreso en Bolivia

Prefacio

El año 2003, cuando se empezó a escribir este libro, se celebró el Año Internacional del Agua Dulce, proclamado por las Naciones Unidas. La meta de esta celebración fue crear conciencia pública para el uso racional de los recursos amenazados de agua dulce, para su uso mejorado y sostenible; y subrayar que es imprescindible un cambio de paradigma hacia sistemas descentralizados centrados en la vivienda.

Mundialmente, se discute sistemas descentralizados en las distintas ramas del manejo de aguas. Varios libros y otra bibliografía son disponibles, especialmente en inglés y alemán, pero las publicaciones en español son todavía muy escasas. Por otro lado, no se encuentra un compendio que integre los diferentes aspectos y elementos de los nuevos conceptos. Este es el motivo para la publicación de este libro, que resume las posibilidades y proyecciones futuras para un manejo sostenible de las aguas en los asentamientos humanos.

El libro se dirige principalmente a municipios de cualquier tamaño, desde pueblos pequeños hasta megaciudades, a profesionales responsables del manejo de aguas en sus diferentes aspectos, planificadores urbanos, arquitectos, paisajistas, ingenieros civiles y sanitarios, limnólogos, sociólogos y autoridades responsables en los diferentes niveles de decisión, movimientos de base y líderes de comunidades, y finalmente, a todos los interesados en el tema, que quieren aportar con su propia iniciativa a un manejo más sostenible de nuestro principal elemento de vida.

No busca soluciones solamente para una cierta clase social. Los conceptos se pueden realizar tanto en países pobres como en países ricos, lo que se demostrará por los estudios de caso seleccionados.

¡Es un tema importante para todos! Todos necesitamos agua limpia cada día. ¡Todos vivimos río abajo, sufriendo los descuidos de alguien río arriba! Todos

tenemos responsabilidad y todos podemos aportar al cambio de paradigma y su realización concreta.

El libro es un compendio que describe los conceptos y tecnologías desarrollados actualmente y los ilustra con estudios de caso de diferentes países. No debe entenderse como una guía técnica, con el detalle suficiente para la aplicación e implementación de las tecnologías descritas. Para este fin, el lector recibe una amplia lista bibliográfica de consulta específica, direcciones disponibles por internet y una lista de expertos y organizaciones internacionales.

Se excluye en esta publicación el manejo de las aguas industriales, que es muy complejo, y tampoco se consideran las aplicaciones agrarias.

Espero que este libro satisfaga al lector y que ayude a mejorar la calidad de vida, para así lograr un futuro más sostenible para la población humana del planeta.

Margot Franken
Noviembre de 2007

Agradecimientos

En primer lugar mi agradecimiento va a la Universidad Mayor de San Andrés, que me otorgó un año sabático para desarrollar este importante tema.

La Fundación Heidehof, de Alemania, financió la edición del libro en Plural editores (La Paz, Bolivia) y la Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA), en La Paz, hizo posible su revisión lingüística profesional.

La Fundación para el Desarrollo de la Ecología (FUNDECO), en conjunto con LIDEMA, hacen posible la difusión y distribución del libro.

Doy las gracias al doctor Joham Koeppel por su gestión en el proceso de financiamiento de la publicación.

En este trabajo han participado muchas organizaciones, expertos y amigos con sus consejos, informaciones y material sobre investigaciones actuales y otro tipo de aportes.

No puedo nombrar todos los amigos que tomaron parte del trabajo con su estimulación y apoyo moral durante los estudios en Europa, pero quiero mencionar en especial a dos de ellos, al doctor Gerd Brandorff, quien ha inducido el tema en mi mente y me ha aprovisionado regularmente con bibliografía, y a Juergen Knippschild, por alojarme varios meses durante el trabajo de redacción del primer manuscrito.

Muchos expertos en los diferentes temas que toca este libro me dedicaron su tiempo para informaciones y discusiones, me aprovisionaron con materiales actuales de sus investigaciones y finalmente revisaron los capítulos respectivos.

La lista es larga:

Expertos internacionales:

- Prof. Dr. Ralf Otterpohl, Universidad Hamburg-Harburg, Alemania: Metodologías sanitarias ecológicas, material bibliográfico.
- Dr. Gerd Brandorff, Oficina de Medio Ambiente de Hamburgo, Alemania: Bibliografía y contactos en la ciudad de Hamburgo, revisión del trabajo.
- Dr. Klaus-Thorsten Tegge, Oficina de Medio Ambiente de Hamburgo, Alemania: Filtros de suelo de tratamiento de aguas pluviales.
- Sr. Wolfgang Berger, Hamburgo, Alemania, productor de sanitarios ecológicos.
- Dr. Martin Oldenburg, Otterwasser GmbH, Luebeck, Alemania: Metodologías sanitarias ecológicas, fotos y gráficos, revisión del capítulo respectivo.
- Dr. Marco Schmidt, Universidad Técnica de Berlín, Alemania: Urbanizaciones ecológicas en Berlín, Retención de aguas pluviales en techos naturados, material bibliográfico, fotos y gráficos.
- Dr. Anton Peter-Froehlich, Berliner Wasserbetriebe, ECOSAN, Berlín, Alemania: Política actual de la empresa de aguas y su proyecto piloto de metodologías sanitarias ecológicas, fotos y gráficos, revisión del capítulo respectivo.
- Ing. Harald Sommer, Empresa Sieker GMBH, Berlín, Alemania: Guía por la zona de pequeña industria de Dahlwitz-Hoppegarten y explicación de los sistemas de manejo de aguas pluviales implementados, aprovisionamiento con fotos, revisión del capítulo respectivo.
- Dr. Ruediger Wolter, Umweltbundesamt Berlín, Alemania: Datos actuales sobre la política de aguas en Alemania y material bibliográfico.
- Arq. Peter Foerster-Baldenius, Senado de Berlín, Alemania: Proyectos modelo de manejo de aguas en la ciudad de Berlín, material bibliográfico.
- Prof. Dr. Hans-Joachim Henze y Dr. Christel Kappis, Instituto de Proyectos Ecológicos Urbanos y Agrarios (IASP), Universidad Humboldt, Berlín, Alemania: Retención de aguas en techos naturados en Berlín y México.
- Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, Universidad de Ciencias Aplicadas Muenster, Alemania: Manejo de aguas pluviales, material bibliográfico, fotos y gráficos.
- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang F. Geiger, Universidad de Essen, Alemania: Manejo de aguas pluviales, material bibliográfico.
- Dr. Christine Werner, Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Eschborn, Alemania: Metodologías sanitarias ecológicas, fotos y gráficos.
- Arq. Klaus W. Koenig, Regenwasserbewirtschaftung, Ueberlingen, Alemania: Manejo y uso de aguas pluviales, material bibliográfico, fotos y gráficos.
- Herbert Dreiseitl y Stefan Brueckmann, Atelier Dreiseitl, Ueberlingen, Alemania: Agua pluvial en la arquitectura urbana, material bibliográfico, fotos y gráficos.

- Dr. Joerg Lange, Oekosiedlung Vauban, Freiburg, Alemania: Concepto del manejo de aguas en la urbanización ecológica.
- Dr. Chris Zurbruegg, E WAG, Zuerich, Suiza: Manejo de aguas y Modelo Centrado en la Vivienda HCES, material bibliográfico.
- Arq. Helmut Deubner, Urbanización ecológica Gaertnerhof, Vienna, Austria: Guía por la urbanización ecológica, material bibliográfico.
- Proyecto TepoztEco, Tepoztlán, México: Metodologías sanitarias ecológicas, aprovisionamiento con fotos.
- Dr. Robert Schemenauer, Fog-Quest, Canadá: Cosecha de aguas de neblina, revisión del capítulo respectivo.
- Dra. Pilar Cereceda, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile: Cosecha de aguas de neblina, revisión del capítulo respectivo.

Expertos nacionales:

- Ing. Ronny Vega, ANESAPA, La Paz, Bolivia: Datos sobre empresas de abastecimiento de agua y datos estadísticos, revisión del estudio de caso Bolivia
- Ing. Enrique Torrico, Viceministerio de Servicios Básicos, La Paz, Bolivia: Actividades de implementación de métodos sanitarios ecológicos en Bolivia, Direcciones de organizaciones y expertos en Bolivia, revisión del estudio de caso Bolivia.
- Ing. Oscar Suntura, Sumaj Huasi, La Paz, Bolivia: Informaciones sobre las actividades de la Fundación en Bolivia y el exterior.
- Ing. Diego Daza, OMS, La Paz, Bolivia: Datos generales sobre el tema agua y salud y las actividades en Bolivia.
- Ing. Alberto Melgar, Centro de Formación Técnica (CENFOTEC), Aldeas SOS, Cochabamba, Bolivia: Informaciones sobre el manejo alternativo de aguas en la Granja ecológica del CENFOTEC.
- Ing. Alexander Olsson, UNICEF, Cochabamba, Bolivia: Informaciones sobre las actividades de UNICEF en Bolivia y en especial sobre la implementación de sanitarios ecológicos en el campo.
- Ing. Mattias Saladin, Fundación SODIS, Cochabamba, Bolivia: Informaciones sobre las actividades de la Fundación SODIS a nivel internacional y en Bolivia.
- Ing. Néstor Pérez, Centro de Capacitación de los Menonitas, Santa Cruz, Bolivia: Informaciones sobre la experiencia del Centro en la producción e implementación de sanitarios ecológicos.
- Ing. Aníbal Pacheco, Proyecto de la Conservación de la Biodiversidad del Sistema TDPS, Bolivia: Autorización para el uso de información institucional.

Y muchos otros que me dieron consejos, que me guiaron en las urbanizaciones ecológicas o me ayudaron de otra manera.

Los dibujos de esta obra se realizaron en su mayor parte por Gabriel Zeballos, La Paz.

Revisores:

- Dra. Cecile de Morales, La Paz, Bolivia.
- Dr. Mauricio Zaballa, La Paz, Bolivia.
- MSc. Rafael Anze, La Paz, Bolivia.
- MSc. Evelyn Taucer, La Paz, Bolivia.
- Lic. María Renee Pinto, La Paz, Bolivia.
- Freddy Pinto, La Paz, Bolivia.
- Hugo Boero, La Paz, Bolivia.
- Dra. Renate Seidel, La Paz, Bolivia.

Contenido

Prefacio 5
Agradecimientos 7

PRIMERA PARTE

I
Introducción 39

II
Salubridad y calidad ambiental en sistemas centralizados y descentralizados 45

1. Características y problemas actuales de los sistemas centralizados 46
   1.1. Sistemas centralizados de agua potable 52
   1.2. Sistemas centralizados de purificación de aguas servidas 53
2. Características de los sistemas descentralizados 58
3. Estudios económicos 61
   3.1. Estudio AKWA 2001 en Alemania 61
   3.2. Estudio en Austria 66
   3.3. Estudio en la ciudad de Berlín 67
4. Resumen 68

III
Niveles de implementación 69

IV
Ahorro del recurso agua 77

1. Problemas actuales de consumo y disponibilidad 78
2. Opciones para el ahorro directo de agua 81
3. Uso de otras fuentes de agua 83
   3.1. Uso de agua de lluvia 88
   3.2. Reciclaje de aguas grises 91
4. Técnicas sanitarias ecológicas (ECOSAN) 98
   4.1. Características de las soluciones ecológicas 103
   4.2. Actividades internacionales en técnicas sanitarias ecológicas 107
   4.3. Sanitarios ecológicos con producción de abono 109
   4.4. Inodoros separadores y urinarios sin agua 125
   4.5. Inodoros al vacío 131
   4.6. Uso de la orina 133
   4.7. Vermicompostaje 135

V
Potabilización de agua en el hogar 139

1. Métodos tradicionales de tratamiento de agua potable 145
   en países tropicales 145
2. Desinfección solar del agua 146
   2.1. Desinfección solar del agua por el método SODIS 146
   2.2. Pasteurización del agua en una cocina solar 149
3. Métodos modernos desarrollados para producir agua potable en lugares remotos y en zonas de catástrofe 150

VI
Purificación de aguas servidas 151

1. Problemas actuales 151
2. Purificación descentralizada 152
   2.1. Tècnologías disponibles 153
   2.2. Métodos naturales 160
      2.2.1. Lagunas de estabilización 163
      2.2.2. Humedales artificiales 165
   2.3. Producción de biogás 175
   2.4. Riego con aguas grises 176
   2.5. Estabilización y humificación de lodos 176

VII
Manejo de aguas pluviales 179
1. Problemas actuales 179
2. Manejo descentralizado de aguas pluviales 185
3. Retención e infiltración de aguas pluviales 190
4. Tratamiento de aguas contaminadas de escurrimiento en humedales artificiales de retención 214
5. Rol de los techos naturados en la retención de aguas pluviales y contaminantes 232
6. El agua en el concepto urbanístico 236
   6.1. Elementos estéticos en el espacio urbano 237
   6.2. Lagunas de retención centralizadas 242
   6.3. Renaturación de cuerpos de agua 243

VIII
Estudios de caso 245

1. Países industrializados 245
   1.1. Urbanizaciones ecológicas y otros proyectos 245
      1.1.1. Urbanización ecológica Flintenbreite, Luebeck, Alemania 245
      1.1.2. Museo Lambertsmuehle, Burscheid, Alemania 250
      1.1.3. Proyecto Sassnitz, Ruegen, Alemania 253
      1.1.4. Urbanizaciones ecológicas en Hannover, Alemania 256
      1.1.5. Urbanización ecológica Gaertnerhof, Viena, Austria 262
      1.1.6. Universidad de Vancouver, Canadá 266
      1.1.7. Urbanización Gebers, Suecia 267
      1.1.8. Proyecto Piloto Sanitario Stahnsdorf, Berlín, Alemania 269
      1.1.9. El Prisma, Nuremberg, Alemania 272
   1.2. Ejemplos urbanos de uso y manejo de aguas pluviales 275
      1.2.1. Gestión de aguas en la ciudad de Hamburgo, Alemania 275
      1.2.2. Gestión de aguas en Berlín, Alemania 276
      1.2.3. Gestión de aguas pluviales en la zona minera del río Ruhr, Alemania 294
      1.2.4. Uso de aguas pluviales y aguas grises en Tokio, Japón 302
      1.2.5. Uso de aguas pluviales en Corea 306
2. Países en desarrollo y en transición 306

2.1. Uso de agua pluvial 306
2.1.1. Cosecha y uso de aguas pluviales en la India 306
2.1.2. Recolección de agua de neblina en Chungungo, Chile 307
2.2. Proyectos sanitarios ecológicos (ECOSAN) 311
2.2.1. África 311
2.2.2. Asia 322
2.2.3. Micronesia 326
2.2.4. Latinoamérica 328

IX
Conclusiones 335

Bibliografía citada 343
Información adicional
(Bibliografía recomendada, sitios web, direcciones de organizaciones, expertos y proveedores) 369

SEGUNDA PARTE

Estudio de caso: Bolivia 405

1. Distribución de fuentes de agua en el país 405
2. Situación actual de gestión y manejo de aguas 406
2.1. Situación legislativa y administrativa 406
2.2. Estado actual de abastecimiento de la población con agua y saneamiento 407
2.3. Políticas de ahorro de agua 410
3. Sistemas implementados 412
3.1. Sistemas de agua potable 412
3.2. Higienización del agua potable por desinfección solar 413
3.3. Higienización del agua potable por filtros de cerámica 415
3.4. Sistemas de saneamiento 416
3.4.1. Sistemas de alcantarillado 416
3.4.3. Humificación de lodos mediante gramíneas en Sucre 419
3.4.4. Humedales artificiales 419
3.4.5. Distribución de sanitarios ecológicos 428
3.5. Manejo y uso de aguas pluviales 440
3.6. Estudio de caso: granja agroecológica en Cochabamba 442
4. Futuras posibilidades de implementación de sistemas descentralizados 446

Bibliografía citada 449

Información adicional 455

SIGLAS, ACRÓNIMOS, GLOSARIO

Instituciones con sus siglas y acrónimos 475

Glosario 479

Lista de figuras

Figura 1
Reservorios mundiales de agua y el ciclo del agua en la tierra* 39

Figura 2
Disminución de la disponibilidad promedio anual del agua
per cápita de 6.800 m^3 actualmente a 4.800 m^3 en 2025 43

Figura 3
Manejo centralizado del agua en sistema lineal* 50

Figura 4
Evolución de los problemas de la contaminación del agua* 51

Figura 5
Manejo descentralizado ecológico de aguas* 60

Figura 6
Ciclo comunal del agua, escenario AKWA 2100* 62

Figura 7
Ciclos a nivel del hogar, escenario AKWA 2100* 63

Figura 8
Evaluación de sostenibilidad de los tres escenarios de manejo de aguas..... 65

Figura 9
Esquema del Modelo Centrado en la Vivienda* 70

Figura 10
Medidas y efectos del manejo integrado descentralizado de aguas 74

Figura 11
Interconexión del uso de agua en la vivienda con el tratamiento local de los flujos segregados de aguas servidas y el manejo de las aguas pluviales generadas en el terreno* 75

Figura 12
Disponibilidad de agua en la tierra 79

Figura 13
Reguladores de flujo 82

Figura 14
Dos modelos de inodoros japoneses 83

Figura 15
Doce modelos de manejo de agua en el hogar* 84

Figura 16
Urbanización ecológica con sistemas descentralizados de agua* 87

Figura 17
Corte por una casa autosostenible con uso interno y externo del agua* 87

Figura 18
Recolección de aguas pluviales para su uso en la vivienda 90

Figura 19
Sistema moderno de reciclaje de aguas grises a nivel doméstico (AquaCycle) ... 95

Figura 20
Reciclaje de aguas grises como agua potable en una planta modelo en Denver*. 97

Figura 21
Esquema del sistema lineal convencional de suministro de agua y evacuación de aguas residuales 100

Figura 22
Esquema de conceptos ECOSAN 101

Figura 23
Flujos segregados y su uso 105

Figura 24
Proyectos de saneamiento ecológico de la GTZ 109

Figura 25
Elementos y procesos generales en un sanitario de compostaje* 111

Figura 26
Sanitarios de desecación y su autoconstrucción..... 115

Figura 27
Sanitario ecológico, modelo Clivus Multrum clásico..... 117

Figura 28
Depósito de un Clivus Multrum de última generación 118

Figura 29
Sanitario de compostaje tipo carrusel 119

Figura 30
Inodoro de compostaje de ENVIROLET, con mezclador
eléctrico y tubo de aireación..... 120

Figura 31
Dos modelos de sanitarios de balde de BERGER, Hamburgo 121

Figura 32
Construcción de sanitario de balde y modelo terminado* 122

Figura 33
Inodoro separador de orina, con barrido de agua, modelo industrial 125

Figura 34
Inodoros separadores simples para sistemas de desecación
o compostaje, de diferentes materiales..... 126

Figura 35
Silla separadora de BERGER, Hamburgo. Se puede adaptar
a distintos modelos de autoconstrucción 127

Figura 36
Urinarios secos en baños públicos 128

Figura 37
Sifón patentado de un urinario sin agua, con líquido sellador 129

Figura 38
Urinario sin agua, con sifón de cierre mecánico, sin líquido sellador, de Urimat.. 130

Figura 39
Sistemas al vacío 132

Figura 40
Sistema de descomposición de heces
en la Universidad Técnica Hamburg-Harburg 136

Figura 41
Instalación de vermicompostaje en la Universidad Técnica
Hamburg-Harburg, con su investigador 137

Figura 42
Filtros simples de varias capas* 141

Figura 43
Métodos de filtración y su efectividad 143

Figura 44
Techo verde para purificación de aguas pluviales* 144

Figura 45
Esquema de un sistema de autosuministro combinado
con purificación biológica y mecánica* 144

Figura 46
Efectos sinérgicos de la desinfección solar SODIS en microorganismos
patógenos 148

Figura 47
Uso del cono de agua 150

Figura 48
Resumen de procedimientos en la depuración de aguas servidas y el
tratamiento de excrementos humanos por procesos aeróbicos y anaeróbicos 154

Figura 49
Humedal artificial con flujo superficial y plantas acuáticas
emergentes, en este caso *Schoenoplectus lacustris** 168

Figura 50
Humedal artificial con flujo superficial y vegetación flotante,
en este caso *Eichhornia crassipes** 168

Figura 51
Humedal artificial con flujo superficial y vegetación sumergida,
en este caso *Elodea canadensis** 169

Figura 52
Humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal
y vegetación emergente, en este caso *Phragmites australis** 171

Figura 53
Humedal artificial con flujo subsuperficial vertical y vegetación emergente, en este caso *Phragmites australis** 172

Figura 54
Humedal artificial de flujo vertical. Planta de purificación Reidelbach, Alemania 173

Figura 55
Sistemas simples de riego con aguas grises, para jardines de viviendas* 174

Figura 56
Planta de biogás en Cuba, consiste en un túnel de material plástico resistente, con la entrada y salida formadas por tubos de cemento 175

Figura 57
Planta de deshidratación y humificación de lodos de depuración, mediante *Phragmites* 177

Figura 58
Escurrimiento, infiltración y evaporación de las precipitaciones sobre superficies naturales y selladas 181

Figura 59
Picos de caudal en un río, después de tormentas, con diferente grado de sellado de superficies en su cuenca 182

Figura 60
Aguas altas y bajas (caudal en l/s x km^2) en paisajes con diferente grado de sellado 182

Figura 61
Red de alcantarillado mixto modificado 187

Figura 62
Red de alcantarillado separado modificado 187

Figura 63
Esquema de manejo de aguas pluviales a nivel local 190

Figura 64
Superficies permeables* 194

Figura 65
Construcción de superficies permeables 194

Figura 66
Superficie permeable (rejillas prefabricadas de cemento con pasto) para vías poco transitadas y áreas de parqueo en San Alberto, La Paz, Bolivia 195

Figura 67
Techos naturados 196

Figura 68
Infiltración en superficies planas 198

Figura 69
Infiltración en depresiones 200

Figura 70
Infiltración en zanjas de grava (*Rigolen*) 201

Figura 71
Elementos de plástico de alta capacidad de almacenamiento de agua (*Rigo-fill inspect*) para la construcción de *Rigolen*. 202

Figura 72
Infiltración por tubos en zanja de drenaje 202

Figura 73
Esquema de un elemento combinado depresión con zanja de grava (*Mulden-Rigolen-Element*) 203

Figura 74
Esquema de pozo de control y rebalse de un elemento depresión con zanja de grava (*Mulden-Rigolen-Element*) 204

Figura 75
Elementos conectados de un sistema de infiltración conformado por depresiones combinadas con zanjas de grava (*Rigolen*) 206

Figura 76
Esquema y foto de pozo de infiltración 206

Figura 77
Foto y esquema de infiltración de aguas pluviales en lagunas 207

Figura 78
Cisterna de retención de aguas pluviales, su implementación en nueva urbanización y esquemas de funcionamiento 208

Figura 79
Elementos de manejo de aguas pluviales para sistemas combinados 210

Figura 80
Efectos de aguas de escurrimiento de precipitaciones
en cuerpos de agua superficiales 213

Figura 81
Capacidad de purificación de la planta piloto Halenreie, en Hamburgo,
Alemania 217

Figura 82
Elementos de un filtro de suelo de retención 219

Figura 83
Corte vertical por el borde del filtro mostrando las capas de construcción 219

Figura 84
Capas del filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania 220

Figura 85
Esquemas del filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania 223

Figura 86
Capa de material vegetal de *Phragmites* en descomposición, del filtro
Geilenkirchen-Flahstrasse, Alemania, después de dos años de funcionamiento ... 224

Figura 87
Plantas y rizomas de *Phragmites* aptas para su plantación 225

Figura 88
Filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania 227

Figura 89
Techos naturados de forma extensiva e intensiva con diferente inclinación 228

Figura 90
UFA-Fabrik, Berlín, Alemania
Medición de factores climáticos y capacidad de retención de aguas 230

Figura 91
Reducción del escurrimiento de las aguas pluviales en un techo
naturado extensivamente, en la UFA-Fabrik, Berlín, Alemania 230

Figura 92
Retención de aguas pluviales en techos naturados 231

Figura 93
Canaleta "abierta" con cama de infiltración de grava gruesa
en el Colegio Salem, Alemania del Sur 234

Figura 94
Ejemplos de canales abiertos en el espacio urbano 238

Figura 95
Integración de las aguas pluviales al diseño arquitectónico y de plazas 240

Figura 96
Conjunto con función múltiple en la zona residencial
Prenzlauer Berg, en Berlín, Alemania 240

Figura 97
Cisterna de aguas pluviales integrada a un campo de juegos para niños,
Urbanización Hannover-Kronsberg, Alemania 241

Figura 98
Parque de recreación con juegos de agua pluvial Pforzheim, Alemania 241

Figura 99
Lagunas de retención de aguas pluviales en Alemania 243

Figura 100
Río urbano en el centro de la ciudad de Zúrich, Suiza 244

Figura 101
Casas en la urbanización 246

Figura 102
Equipamiento técnico en la casa comunal 246

Figura 103
Esquema del concepto sanitario de la urbanización ecológica *Flintenbreite* 247

Figura 104
Esquema del flujo de aguas y desechos en la urbanización *Flintenbreite* 248

Figura 105
Humedal artificial plantado con *Phragmites* 249

Figura 106
Museo Lambertsmuehle 250

Figura 107
Esquema de flujo de los desechos líquidos y sólidos del museo 251

Figura 108
Esquema de flujo de los desechos líquidos y sólidos del museo 251

Figura 109
Elementos del sistema sanitario del museo Lambertsmuehle 252

Figura 110
Esquema del concepto de agua 255

Figura 111
Mapa de la urbanización Kronsberg 257

Figura 112
Balance de aguas de Kronsberg 258

Figura 113
Sistemas de infiltración y desagüe retardado 260

Figura 114
Elementos del manejo de agua en los patios, en agosto 2003, durante sequía ... 261

Figura 115
Superficies semicentralizadas de retención e infiltración
al pie de la colina y laguna final de retención 262

Figura 116
Elementos estéticos creados con el uso de las aguas pluviales 263

Figura 117
Esquema de suministro de agua de pozo y aguas pluviales* 264

Figura 118
Esquema de la planta de purificación de aguas servidas mediante macrófitas*... 265

Figura 119
Planta de purificación de aguas servidas 265

Figura 120
Planta de purificación de aguas servidas en otoño
después de la cosecha de las macrófitas 266

Figura 121
Sistema de manejo de agua en el Instituto de Investigaciones Asiáticas 267

Figura 122
Proyecto Vivienda Gebers 268

Figura 123
Esquema del sistema ECOSAN en el edificio de la Empresa de Aguas de Berlín... 270

Figura 124
Estimación de la evolución de los costos de un sistema sanitario en el tiempo .. 271

Figura 125
Comparación de costos entre tipos de inodoros y escenarios 271

Figura 126
Elementos del manejo de agua en el edificio El Prisma 272

Figura 127
Espacio verde interno, con paredes de climatización 274

Figura 128
Mapa de la zona industrial Dahlwitz-Hoppegarten 278

Figura 129
Sistemas de infiltración públicos y privados en la zona industrial..... 279

Figura 130
Áreas públicas finales de recepción e infiltración de las aguas
pluviales excedentes de la zona industrial 280

Figura 131
Cuerpo receptor, riachuelo Werner, ubicado debajo
de las zonas públicas de infiltración 280

Figura 132
Sistema Innodrain®, corte longitudinal 282

Figura 133
Mapa de implementación del sistema Innodrain en la calle de la
urbanización..... 282

Figura 134
Sistema Innodrain en la zona residencial..... 283

Figura 135
Esquema de tratamiento y uso de las aguas pluviales en la urbanización
Lankwitz 285

Figura 136
Viviendas y área verde Schweriner Hof..... 286

Figura 137
Esquema de manejo de las aguas pluviales en la urbanización Schweriner
Hof..... 287

Figura 138
Esquema de construcción de los techos naturados en la UFA-Fabrik 288

Figura 139
Medición de parámetros climáticos y escurrimiento
en un techo verde de la UFA-Fabrik 289

Figura 140
Techo verde de la UFA-Fabrik, con paneles fotovoltaicos 289

Figura 141
Sistema de manejo y uso de aguas pluviales 290

Figura 142
Cuerpo de agua central y franja con vegetación purificadora
del agua, en la plaza Potsdam 292

Figura 143
Manejo de aguas en la plaza Potsdam 293

Figura 144
Esquema de manejo de aguas en la industria Rockwool 296

Figura 145
Esquema de manejo de aguas 297

Figura 146
Elementos de desagüe e infiltración de aguas pluviales 297

Figura 147
Esquema de manejo de aguas 299

Figura 148
Elementos de manejo de aguas pluviales usados en la urbanización
Schuengelberg 300

Figura 149
Riachuelo Lanferbach 301

Figura 150
Vías del agua en la urbanización Schuengelberg 301

Figura 151
Vías de las aguas de lluvia, zona de recreación en la urbanización Schuengelberg .. 302

Figura 152
Esquema de reciclaje de aguas grises y pluviales en la casa Ohtemachi, Tokio 303

Figura 153
Edificios con uso de aguas pluviales en Sumida-City 304

Figura 154
Sistema Rojison en un barrio de Sumida-City 305

Figura 155
Colectores de niebla en El Tofo 308

Figura 156
Distribución de zonas con buenas condiciones de colección
de neblina en Europa y África 310

Figura 157
Sistema ECOSAN en Malí 314

Figura 158
Cultivos hidropónicos de plantas ornamentales en Senegal 317

Figura 159
Esquema del sistema ECOSAN 318

Figura 160
Elementos del manejo de aguas 319

Figura 161
Humificación de lodos de depuración 322

Figura 162
Inodoros separadores de orina, fabricados y patentados en China 324

Figura 163
Modelo "Cuatro en Uno", flujos de sustancias y energía 325

Figura 164
Sanitario compostero con red de pesca para retención de sólidos 326

Figura 165
Sanitario compostero con invernadero anexo 327

Figura 166
Construcción de un sanitario de deshidratación
de doble cámara en ayuda vecinal 329

Figura 167
Sanitario ecológico en Playa del Carmen 330

Figura 168
Producción y promoción de inodoros separadores y urinarios sin agua 330

Figura 169
Aplicación de orina en cultivos de plantas comestibles 331

Figura 170
Recolección de orina en mingitorios públicos y su aplicación al proceso de compostaje en el relleno sanitario de basura municipal 333

Figura 171
Sanitario ecológico de Resource, en México 334

Figura 172
Perforación manual de pozos en el altiplano 413

Figura 173
Uso de la técnica SODIS 414

Figura 174
Filtros de agua 415

Figura 175
Cascadas experimentales de purificación de aguas con totora 420

Figura 176
Laguna final de la planta depuradora de Puchuckollo, ciudad de El Alto 421

Figura 177
Vista de conjunto de la planta piloto de Copacabana 423

Figura 178
Esquema de funcionamiento de la planta de tratamiento de Copacabana 423

Figura 179
Planta de purificación en Copacabana 424

Figura 180
Flujos de aguas servidas hacia el lago, en la bahía turística de Copacabana 424

Figura 181
Esquema de funcionamiento de la planta de tratamiento de Desaguadero 425

Figura 182
Croquis del sistema 426

Figura 183
Elementos del sistema de purificación de las Aldeas Infantiles SOS..... 427

Figura 184
Sanitarios ecológicos implementados en colegios 429

Figura 185
Sanitario ecológico Clivus Multrum en autoconstrucción,
Achocalla (La Paz) 430

Figura 186
Sanitarios ecológicos tipo Clivus Multrum en Calamarca,
zona altiplánica 431

Figura 187
Saneamiento ecológico en casa particular de la zona Río Abajo, La Paz..... 432

Figura 188
Taller del Centro de Capacitación y Tecnología Apropiada de los
Menonitas 434

Figura 189
Inodoros separadores producidos por Sumaj Huasi 435

Figura 190
Inodoro separador de cerámica..... 435

Figura 191
Organigrama - roles de los técnicos municipales en el desarrollo
comunitario..... 437

Figura 192
Superficies permeables en la ciudad de La Paz..... 441

Figura 193
Elementos del manejo descentralizado de aguas 444

Figura 194
Elementos del manejo de excrementos..... 445

* Dibujos elaborados por Gabriel Zeballos.

Lista de tablas

Tabla 1
Costos de inversión y operación (en €) en tres escenarios de manejo de agua, en Austria 67

Tabla 2
Consumo promedio de agua potable en un país industrializado 77

Tabla 3
Criterios de calidad para las aguas grises purificadas 94

Tabla 4
Requerimientos higiénicos para aguas de servicio, aguas crudas para la generación de agua potable y aguas de recreación 94

Tabla 5
Flujos segregados de aguas servidas domésticas 103

Tabla 6
Componentes principales en los flujos segregados de las aguas domésticas 103

Tabla 7
Clasificación de flujos segregados en zonas residenciales y posibilidades para su tratamiento 104

Tabla 8
Comparación de los principales conceptos sanitarios 106

Tabla 9
Periodo de sobrevivencia de patógenos en lodos fecales húmedos 113

Tabla 10
Condiciones ambientales que estimulan la muerte de los patógenos..... 113

Tabla 11
Características, ventajas y desventajas de los distintos
tipos de sanitarios ecológicos 123

Tabla 12
Comparación del consumo diario de agua en inodoros 133

Tabla 13
Plantas usadas en la purificación de aguas 145

Tabla 14
Sobrevivencia de microorganismos con temperaturas elevadas 149

Tabla 15
Evaluación de los métodos 159

Tabla 16
Procedimientos descentralizados y parámetros de dimensionamiento 159

Tabla 17
Concentraciones y cargas en aguas negras (residuos fecales)
y aguas grises sedimentadas 161

Tabla 18
Retención de patógenos en lagunas de estabilización
y en sistemas convencionales de lodos activados 164

Tabla 19
Mecanismos de remoción y transformación en humedales artificiales
de los constituyentes más importantes en las aguas servidas 166

Tabla 20
Lavado de metales pesados de superficies selladas..... 184

Tabla 21
Lavado en techos metálicos 185

Tabla 22
Evaluación de diferentes medidas de manejo descentralizado de las aguas
pluviales en base a sus efectos sobre el sistema de drenaje completo 191

Tabla 23
Escurrimiento sobre distintas superficies..... 193

Tabla 24
Aptitud de superficies permeables para diferentes usos 195

Tabla 25
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en superficies planas..... 199

Tabla 26
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en depresiones..... 200

Tabla 27
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en zanjas de grava..... 201

Tabla 28
Ventajas y desventajas de la infiltración en sistemas combinados
de depresiones y zanjas tipo *Rigolen* 205

Tabla 29
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en pozos..... 207

Tabla 30
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en lagunas o humedales 208

Tabla 31
Ventajas y desventajas de medidas de retención con descarga retardada 208

Tabla 32
Comparación de distintos métodos de infiltración y retención 210

Tabla 33
Aptitud de aguas de escurrimiento para su infiltración 212

Tabla 34
Requerimientos para la implementación exitosa
de la infiltración de aguas pluviales..... 213

Tabla 35
Cargas anuales de abrasión en superficies de distintos usos en zonas urbanas ... 215

Tabla 36
Aptitud de filtros de suelo de retención para el tratamiento
de aguas de escurrimiento 220

Tabla 37
Características de sustratos para el funcionamiento básico
de un filtro de suelo 225

Tabla 38
Factores para el dimensionamiento de filtros de suelo de retención 226

Tabla 39
Medidas para el mantenimiento de filtros de suelo de retención 230

Tabla 40
Cantidad y distribución de nutrientes en aguas negras y aguas grises
de la urbanización Flintenbreite 249

Tabla 41
Parámetros medidos en los flujos parciales de la urbanización Gebers 269

Tabla 42
Datos del proyecto 284

Tabla 43
Especificación de las superficies disponibles..... 286

Tabla 44
Superficies de recolección de las aguas de lluvia..... 290

Tabla 45
Parámetros del sistema de uso de aguas pluviales..... 290

Tabla 46
Retención anual de nutrientes y contaminantes en el sistema
de uso de agua en los años 1994 hasta 1996..... 291

Tabla 47
Datos del proyecto..... 302

Tabla 48
Especificación de las superficies disponibles..... 295

Tabla 49
Especificación de las superficies disponibles..... 296

Tabla 50
Especificación de las superficies disponibles..... 298

Tabla 51
Características del lugar 302

Tabla 52
Datos del país..... 304

Tabla 53
Producción de aguas de neblina en diferentes países 310

Tabla 54
Calidad de los productos de humificación generados en Egipto, comparada con la calidad de los lodos secados de manera convencional 320

Tabla 55
Ventajas y desventajas del uso de las dos especies distintas 321

Tabla 56
Empresas de agua en 13 ciudades de Bolivia y sus servicios 408

Tabla 57
Cobertura de servicio de agua potable y saneamiento en el año 2000 409

Tabla 58
Tarifas de agua potable en La Paz y El Alto 412

Tabla 59
Índices de mortalidad infantil 428

Tabla 60
Características de construcción de los sanitarios evaluados 438

PRIMERA PARTE

I

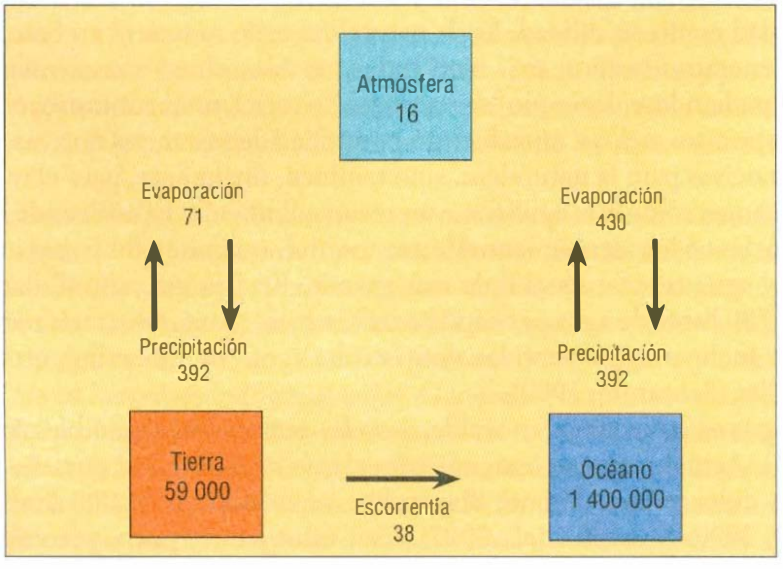
Introducción

Es el agua que toma la forma de esta tierra, de la región media, de este cielo, estas montañas, estos dioses y hombres, de los animales domésticos y de los pájaros, de las hierbas y árboles, y todos los animales incluidos los gusanos, las moscas y las hormigas. El agua es todas estas formas, medita sobre el agua.

(Upanishads)

El agua tiene una función sumamente importante en los ecosistemas, es el elemento de unión entre la atmósfera, los ecosistemas terrestres y la litosfera. Por este motivo, las influencias humanas sobre el agua tienen efectos aun en ecosistemas alejados de los lugares de alteración (Krusche *et al.*, 1982).

Figura 1
Reservorios mundiales de agua y el ciclo del agua en la tierra



Las cifras para los reservorios están representadas en 1.000 km³, las cifras para los flujos de agua están expresadas en 1.000 km³/año. Dibujo basado en Bengtsson & Arpe, 2000.

Aire, suelo y agua son recursos naturales fundamentales. Su mantenimiento en estado natural es necesario para sostener la vida en el planeta. El agua se encuentra en todos los organismos, y en diferentes estados de agregación, en el aire y en el suelo. Sirve de catalizador para las funciones vitales y constituye el medio de transporte principal en los organismos, los ecosistemas y la biosfera en general, transportando nutrientes y minerales, además de los contaminantes.

El agua de buena calidad es imprescindible para la vida, ya que los organismos están mayormente constituidos por este elemento. Dependiendo de su edad, el cuerpo humano contiene alrededor de un 60% de agua, en tanto que el cerebro la contiene hasta en un 90%. Una planta necesita de 250 a 1.000 g de agua para generar sólo un 1 g de masa corporal. La vida se desarrolló en el agua y este elemento constituye el medio ambiente de muchos organismos vegetales y animales. En base a la distribución del agua, se organizaron las civilizaciones antiguas, tanto en Mesopotamia y en la cuenca del Nilo, y el área de influencia del imperio romano. Para no decir nada del antiguo México, que estableció métodos de agricultura sostenible en base al manejo del agua; en los Andes no sólo que el desarrollo urbanístico y rural de Tiwanaku, sino que el incaico posterior, dependieron del manejo inteligente de este recurso. Por su parte, el desarrollo de la cultura de Moxos (en la Amazonía) se sostuvo sobre la base de saberes hidráulicos de sorprendente ingenio. Del mismo modo, hoy en día, el sostenimiento de las civilizaciones modernas depende de la existencia de fuentes de agua, además de sistemas de conducción y tratamiento, para la distribución y saneamiento del agua.

Con el advenimiento de la civilización moderna, el hombre ha logrado tener una gran influencia sobre todos los ciclos naturales, alterando los flujos tanto en cantidad como en calidad. En la naturaleza todo se mueve en base a ciclos. No se generan desechos, más bien todos los "desechos" son reintegrados al sistema; pudiéndose decir que "se reutilizan" o reciclan. Al contrario, el hombre interrumpe estos ciclos e introduce gran cantidad de sustancias nocivas, es decir, no sólo nocivas para la naturaleza, sino también, finalmente, para él mismo.

Actuamos como si el agua fuese un recurso ilimitado. El análisis de los flujos de sustancias en los asentamientos humanos muestra que en los países industrializados el agua representa el flujo más grande. En Europa central diariamente circulan 780 litros de agua per cápita a través de las plantas de tratamiento. Este volumen incluye aguas servidas domésticas, aguas de escurrimiento y aguas industriales (Schramm, 1999).

El agua es un recurso renovable, pero las cantidades disponibles son finitas (figura 1). Actualmente se usan aproximadamente 4.200 km^3 por año, el 10% del agua dulce mundialmente disponible, reportado en 43.000 km^3 por año (Reussig, 2000; Kohfahl *et al.*, 2007). Este valor parece poco, pero el agua no se distribuye en forma homogénea en la tierra. Por otro lado, otros autores hablan de un escurrimiento accesible de sólo 13.000 km^3/año, lo que significa

que ya actualmente vivimos bajo estrés de agua en promedio del nivel mundial (Kinzelbach *et al.*, 2007).

Existen extensas regiones con un déficit natural de agua y la demanda total va en aumento debido al crecimiento poblacional y la ampliación de la demanda individual. En los últimos 50 años se duplicó la población mundial, mientras que el consumo de agua se cuadruplicó (Scheele & Malz, 2007a). Actualmente, se reportan 30 países sufriendo de déficit de agua (Kohfahl *et al.*, 2007). Las aguas subterráneas –una de nuestras fuentes más importantes de agua potable– descienden con una rapidez alarmante debajo y alrededor de las aglomeraciones urbanas. Por otra parte, la calidad de las aguas naturales va en continuo desmedro. Hablamos en este caso no sólo de los cuerpos de agua superficiales –receptores directos e indirectos de la contaminación originada por el hombre–, sino también del hecho de que las sustancias contaminantes ya han llegado a afectar otros compartimentos del ciclo hidrológico, las aguas subterráneas y las aguas pluviales.

La declaración de la Agenda 21, en su capítulo 18.2. (1992) establece la necesidad de preservar el agua "en todos los aspectos de la vida. El objetivo general es velar que se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionados con el agua. Es preciso contar –continúa la declaración de la Agenda 21– con tecnologías innovadoras, entre ellas las tecnologías locales mejoradas para aprovechar plenamente los recursos hídricos limitados y protegerlos contra la contaminación". (Agenda 21, 1992).

A pesar de que durante los últimos 10 a 20 años la comunidad internacional ha hecho grandes esfuerzos para suministrar agua limpia a toda la humanidad, todavía a principios del siglo 21 la situación global es muy distinta a la deseada (Lozán *et al.*, 2007; Werner *et al.*, 2002; Schertenleib & Gujer, 2000; Krusche *et al.*, 1982):

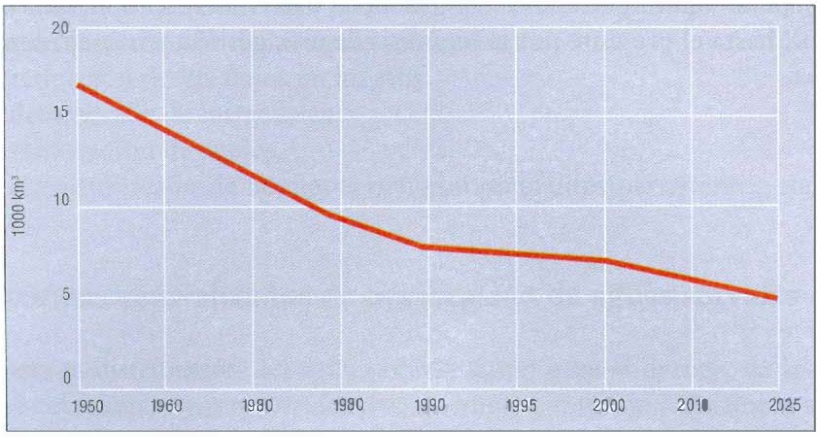
- A escala mundial, 1,2 mil millones de personas no tienen todavía acceso a fuentes de agua potable pura.
- Casi 2,5 mil millones de personas no cuentan con sistemas sanitarios suficientes (incluidas letrinas) o carecen de un sistema de alcantarillado.
- La mitad de la población mundial no tiene la calidad de servicios de agua que eran estándar para la cultura romana y griega.
- Más del 90% de las aguas servidas producidas en el mundo entero, o no se purifican adecuadamente, o se evacuan sin tratamiento.
- Aproximadamente el 80% de todas las enfermedades y el 25% de todas las muertes en el tercer mundo son inducidas por déficit de agua o uso de agua contaminada.

- Entre 10.000 a 20.000 niños mueren diariamente a consecuencia directa de condiciones sanitarias insuficientes.
- La tasa más alta de mortalidad infantil se encuentra en países con los números más bajos de personas teniendo acceso a agua potable pura.
- Problemas ambientales severos y de higiene son causados por la contaminación de las aguas superficiales, ya sea por la entrada de materia orgánica, por nutrientes, por patógenos, por residuos de medicamentos, por hormonas o por otros contaminantes.
- Diariamente entran aproximadamente 2 millones de toneladas de desechos a los cuerpos de agua. A largo plazo, sin importar el lugar de depósito, cada desecho entra en el ciclo del agua.
- 12.000 km^3 de agua se encuentran contaminados, esta cifra corresponde al volumen total de agua de los 10 ríos más caudalosos del planeta.
- Las subvenciones llegan frecuentemente a zonas ricas, mientras que las poblaciones pobres son descuidadas.

Todos estos datos nos muestran que las aguas se encuentran bajo amenaza directa que, según Wetzel (2003), tiene las siguientes causas:

La humanidad está contaminando, redireccionando y extrayendo agua dulce a tasas imposibles de sostener. El crecimiento poblacional neto supera actualmente los 200.000 nacimientos por día. El consumo de bienes materiales de la humanidad causa la duplicación del uso del agua cada dos décadas, tasa dos veces más elevada que la del incremento poblacional de la humanidad. Aunque existen logros ocasionales en la protección de las aguas naturales en ciertas áreas de Europa y de Norteamérica, las aguas superficiales a nivel mundial van siendo dañadas a tasas aceleradas por contaminación tóxica proveniente de la polución industrial y urbana, por enfermedades infecciosas, construcciones de diques, riego, agricultura industrial, y por destrucción de bosques y humedales. En su mayoría, las aguas subterráneas son explotadas a mayor velocidad que sus tasas de renovación. Sin lugar a dudas, el déficit de disponibilidad de agua dulce de buena calidad se ha convertido en la amenaza más grande, no sólo para la humanidad, sino también para muchos otros organismos. La venta de agua para satisfacer las necesidades humanas se ha convertido en una industria global. Aunque actualmente estas ventas constituyen sólo un pequeño porcentaje del total del agua utilizada, las ganancias son enormes y compiten con las del petróleo (Wetzel, 2003). Esto significa que no faltan incentivos como para que esta industria se vaya incrementando en el tiempo con prácticas que en muchos casos resultan inadecuadas para la conservación de la vida en el planeta.

Figura 2
Disminución de la disponibilidad promedio anual del agua per cápita de 6.800 m³ actualmente a 4.800 m³ en 2025



Más de la mitad de la población mundial tendrá menos de 1.700 m³ anuales de agua per cápita y sufrirá de "estrés de agua" para el año 2025. Fuente: <www.unesco-heute.de>, I.A. Shiklomanow, Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. UNESCO-Kurier 10/2001.

El agua es un bien común, por este motivo se tiene que manejar responsable y adecuadamente. Las tecnologías centralizadas no son de lo más aptas para este fin, pues interrumpen los ciclos naturales. No sólo son impagables para los países pobres, no son tampoco sostenibles en los países industrializados. El 10 de febrero de 2001, la DFG (Fundación Alemana de Investigación) había destacado en su *documento estratégico para el estudio del agua* que "existen justificadas dudas sobre la eficiencia del uso de recursos y la sostenibilidad del actual manejo municipal de las aguas". Y que "existen sistemas alternativos con tecnologías, procedimientos y conductas para cambiar, sustancialmente, el sistema actual". (citado en Lehn, 2002).

La participación competente de muchos profesionales de diferentes ramas y la sociedad en su conjunto es fundamental para el desarrollo y la difusión de los nuevos conceptos y el diseño del manejo del agua, a fin de lograr decisiones democráticas y soluciones sostenibles (Schramm, 1999).

Los principios de los nuevos procedimientos consisten en: purificar las aguas usadas en fuente, transformar los ciclos hacia su estado natural originario y cerrar nuevamente los ciclos donde éstos se hubieran interrumpido, a fin de proporcionar condiciones que no alteren la sostenibilidad de los ecosistemas, y de que se asegure un acceso y distribución equitativa del agua para las colectividades de integración humana repartidas a lo largo del planeta a través de métodos de acción local concebidos globalmente.

El objetivo de este libro consiste en mostrar las incongruencias del actual uso y manejo del agua, las desventajas de las soluciones del manejo centralizado

y, por otro lado, las posibilidades de mejorar la calidad de vida para gran parte de la humanidad, al mismo tiempo restaurar los ciclos naturales introduciendo tecnologías nuevas y sostenibles que, respetando los ciclos de la naturaleza, permitan superar algunas de estas incongruencias y desventajas implicadas desde el siglo XIX hasta el presente por la hipótesis de uso, gestión y manejo centralista del agua.

II

Salubridad y calidad ambiental en sistemas centralizados y descentralizados

Nuestros sistemas centralizados no tienen futuro. Ninguna industria con manejo moderno de sus aguas residuales mezclaría orina, residuos fecales y el resto de las aguas residuales.

Las precipitaciones y el agua subterránea son distribuidas en forma descentralizada, así que un uso ecológico del agua sólo puede realizarse en forma descentralizada.

Mediante la combinación de técnicas de reuso de las aguas fecales y de cocina, con el uso y la infiltración de las aguas pluviales y las aguas grises purificadas, se puede lograr la independencia total de la red de alcantarillado.

(Scheer & Kimmich, 1999)

Históricamente, todos los sistemas de abastecimiento y evacuación de agua eran descentralizados, hasta alcanzar las tecnologías necesarias para el desarrollo de los grandes sistemas de abastecimiento y desagüe centralizados que se conocen hoy en día.

Antes, la población se aprovisionaba con agua potable mediante vertientes y pozos. En las ciudades europeas existían miles de pozos para el uso de la población. Con el crecimiento de las ciudades, y debido a la incorrecta instalación de letrinas próximas a los pozos de agua potable, éstos se contaminaron por la filtración de materia fecal, situación que perduró durante la época de la industrialización.

Los sistemas centralizados de distribución de agua potable y eliminación de aguas servidas se desarrollaron en el siglo XIX, primero en la ciudad de Londres, luego se distribuyeron en todo el continente europeo y finalmente en todo el mundo. Esta fue la solución preferida no sólo en los países industrializados, sino también en los países en vías de desarrollo.

Esta evolución histórica pudo ser evitada. Durante el siglo XIX, en Europa no sólo se desarrollaron los sistemas unificados y centralizados, sino también muchas ideas para un abastecimiento y saneamiento descentralizado. Por ejemplo: (1) Modelos de *sanitarios de compostaje*, con adición de tierra, aserrín o turba, para su uso tanto en casas individuales como en edificios de varios pisos, estaciones

de trenes, fábricas y cuarteles, siendo el sistema más famoso y más distribuido el desarrollado por Henry Moule aproximadamente en 1850, en Inglaterra; (2) *Sistemas de vacío*, como el sistema Lienur para la succión de excrementos, su almacenamiento en tanques y su transporte fuera de las ciudades para la producción de un fertilizante, llamado *poudrette*, para el uso agrícola. Estos sistemas fueron implementados en Lyón (Francia), en varias ciudades belgas, Praga (República Checa), Ámsterdam (Países Bajos) y Hanau (Alemania); en la ciudad de Ámsterdam, más de 50.000 personas estaban conectadas a este sistema de vacío; (3) *Sistemas de red sanitaria doble para el abastecimiento* de agua potable de alta calidad desde pozos o vertientes, por un lado, y, por otro lado, aguas de servicio de menor calidad, provenientes de los cuerpos de agua superficiales. Estos últimos se implementaron con éxito en las ciudades de Zúrich (Suiza), Freiberg y Stuttgart (Alemania). (Kluge & Schramm, 1988; Kluge, 2000; Esrey *et al.*, 2001).

Las consecuencias de los sistemas centralizados ya fueron previstas, desde sus inicios, por muchos ingenieros y planificadores del siglo XIX: era inevitable la contaminación de los suelos por filtraciones debido a los tubos permeables y/o defectuosos, la contaminación de los cuerpos de agua superficiales receptores de los efluentes del alcantarillado, y la falta de volúmenes suficientemente grandes de agua potable de alta calidad para el abastecimiento de las ciudades en crecimiento mediante un sistema unificado.

La visión futurista de un ingeniero suizo (1877), de una continua disminución de la calidad del agua potable, se ha vuelto una realidad cotidiana debido a la mezcla inevitable de aguas de pozo y vertiente con aguas superficiales de menor calidad. Esta mezcla incrementa los costos de la potabilización, sumada a la necesidad de desinfectar el agua con tóxicos higiénicos como el cloro. (Kluge & Schramm, 1988).

Sin embargo, al final, los defensores de los sistemas unificados de abastecimiento de agua de una sola calidad, conjuntamente con un sistema de alcantarillado único para la conducción de las aguas fecales, las aguas grises y las aguas pluviales hacia los cuerpos de agua receptores ganaron la batalla y consecuentemente, estos sistemas se distribuyeron por todo el mundo.

Actualmente, estos sistemas son altamente cuestionados y por esto se desarrollan nuevos conceptos para la descentralización, con sus tecnologías correspondientes. Nuevamente, la discusión y el desarrollo tecnológico se inician en los países industrializados.

1. Características y problemas actuales de los sistemas centralizados

En una amplia encuesta realizada en Gran Bretaña sobre el invento más importante de la humanidad, el retrete con tanque de agua ganó el primer puesto, incluso antes

que la computadora y la rueda. Esto demuestra la gran importancia de la higiene y la comodidad sanitario en la percepción de la gente. (Otterpohl, 1999).

Desde mediados del siglo XIX, el inodoro con tanque de agua representa mundialmente el desarrollo higiénico. El desinterés natural y el rechazo exagerado de la civilización hacia sus excrementos dificultan el hecho de asumir responsabilidades por los propios desechos corporales. Nuestros inodoros con tanque de agua para el barrido y su conexión al alcantarillado son perfectos para esta tarea. No obstante, constituyen un desvío ecológico grave al mezclar el ciclo de nutrientes con el ciclo del agua. Tampoco las plantas de purificación con un alto nivel tecnológico consiguen descomponer totalmente los nutrientes contenidos en las aguas servidas domésticas. El fósforo y el nitrógeno de los efluentes eutrofizan las aguas superficiales, mientras que los nutrientes esenciales para el mantenimiento de la fertilidad de los suelos tienen que producirse de manera artificial. Generalmente, el uso de los lodos de purificación como abono es excluido debido a su contaminación con sustancias tóxicas provenientes de otras fuentes, por ejemplo, el ingreso de aguas industriales a la red de alcantarillado. Por este motivo, los lodos se incineran o se depositan. Por otro lado, gran parte de la población mundial no está en condiciones de implementar sanitarios con barrido de agua por falta de agua o debido a los altos costos. (Berger, 2002).

Desde hace ya decenios, en los círculos de arquitectura ecológica se vienen discutiendo otras posibilidades para cerrar los ciclos del agua y de los nutrientes a nivel de las viviendas particulares para evitar el traslado de grandes potenciales de contaminación (Krusche *et al.*, 1982).

Las críticas en contra de los sistemas convencionales centralizados de evacuación y tratamiento de aguas servidas aumentan también en los países industrializados, por razones ecológicas y económicas, especialmente por los enormes costos en inversión, operación y mantenimiento, y el excesivo consumo de energía. La potabilización del agua y el tratamiento de las aguas servidas en plantas de gran escala, sumados a la infraestructura de transporte correspondiente, requieren de importantes inversiones y enormes cantidades de energía para la potabilización y distribución del agua, el alcantarillado y la purificación final de las aguas. Los daños al medio ambiente son amplificados por la extracción puntual de elevados volúmenes de agua del ciclo natural. Por otro lado, el agua, que inicialmente fue potabilizada en procesos costosos, se mezcla con los residuos fecales, contribuyendo de manera significativa a la contaminación de las aguas superficiales y generando problemas higiénicos. Las aguas superficiales y subterráneas no pueden servir simultáneamente para el suministro de agua potable y el vertido de aguas residuales. Además, en todos los sistemas convencionales, sean centralizados o descentralizados, se pierden los nutrientes valiosos para la fertilización de los suelos agrícolas y consecuentemente para la producción de alimentos.

El equilibrio en el balance hídrico se interrumpió debido a las actividades humanas. Actualmente, en Estados Unidos se comienza a destruir los grandes

embalses y en Europa se destruyen las obras de regulación de ríos porque se ha evidenciado sus influencias negativas en los ecosistemas naturales, especialmente en el balance hídrico. Las napas freáticas, que se encuentran debajo de las grandes ciudades, descienden, los ríos pierden el equilibrio hidrológico, se registran más inundaciones y sequías por el desbalance en su régimen hidráulico, todo eso acelerado también por el cambio climático global. El conjunto de estos fenómenos tiene múltiples causas: la tala de los bosques, la pérdida de las zonas de inundación de los ríos, la regulación de las aguas corrientes, y el flujo más directo y más rápido de las aguas en estos ríos rectificados, además del mayor escurrimiento de las aguas pluviales hacia los cuerpos receptores por cambios en la vegetación y la edificación de grandes urbes con aumento creciente de los suelos impermeables, la explotación centralizada del agua potable y la consiguiente ruptura de los ciclos naturales locales.

Una de las causas importantes del desequilibrio del balance hídrico de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos es el grado de centralización de los sistemas de manejo de agua, especialmente en las áreas de influencia de las grandes ciudades. Por otro lado, la creciente contaminación de las fuentes de agua tiene su origen, en gran parte, en la organización de los sistemas de manejo centralizado, que exportan los problemas desde las fuentes de origen a zonas aledañas.

Las estructuras actuales para el manejo del agua se caracterizan por plantas centralizadas de potabilización, largas redes ramificadas de distribución de agua potable y evacuación de aguas servidas, y plantas de tratamiento centralizados. En estas circunstancias, los usuarios no pueden asumir la responsabilidad directa porque casi no existen posibilidades de control y autorregulación (Krusche *et al.*, 1982).

Los países industrializados del hemisferio norte no cuentan con mecanismos importantes de reciclaje del agua y sus contenidos. Los lodos de purificación son una mezcla de sustancias que ya casi no se aceptan en la agricultura, como abono, por sus grandes riesgos de contaminación. Por otra parte, mientras que la legislación enfoca el reciclaje en el manejo de los residuos sólidos, este tema recién está entrando en discusión para los desechos líquidos. Los problemas del manejo de aguas en los asentamientos humanos prevalecen desde hace 150 años, y se trasladan al espacio y al futuro. Esto induce a conflictos y crisis entre las zonas urbanas y periurbanas. Ya existe una crisis de financiamiento alrededor de las aguas residuales porque su tratamiento, siempre más complejo, y la deposición de los lodos generados por el tratamiento ya no pueden ser cubiertos. Los microorganismos fecales y patógenos presentes en los efluentes de las plantas de tratamiento causan graves problemas que sólo pueden ser resueltos con técnicas y costos adicionales, por ejemplo, por microfiltración. La infraestructura de flujo lineal, además de que exige enormes

inversiones, no permite un uso futuro sostenible del agua. Es necesario un manejo más eficiente y cuidadoso por la cantidad disponible de agua, por las grandes inversiones requeridas en infraestructura para el suministro de agua potable y tratamiento de las aguas servidas, y por la pérdida de recursos en abono. (Schramm, 1999).

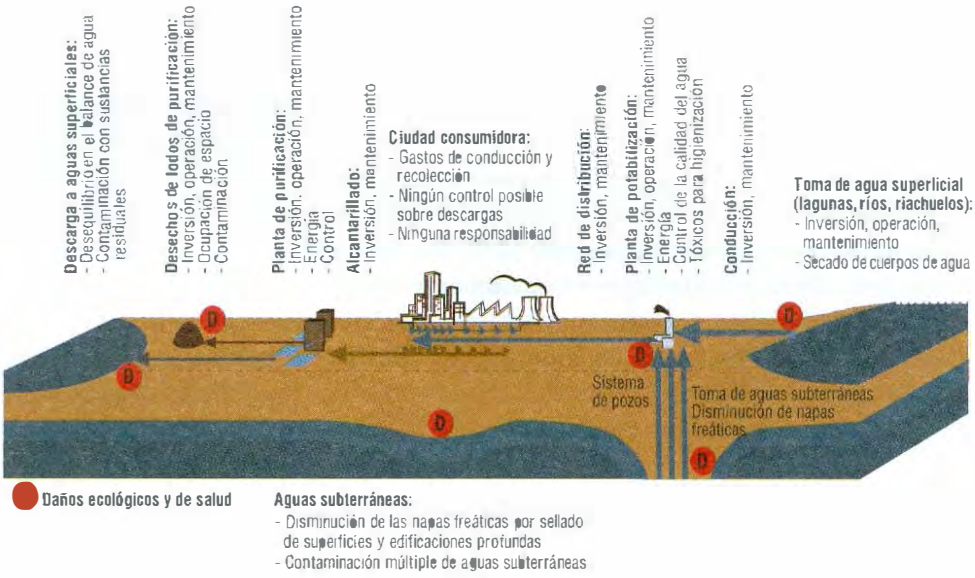
Las afirmaciones para justificar los sistemas centralizados por parte de las entidades públicas responsables de la gestión de aguas y las empresas proveedoras del servicio convergen en varios postulados. Debido a la implementación sistemática de sistemas convencionales de desagüe, con el tratamiento de las aguas servidas en plantas centralizadas en los países industrializados del norte, fue posible: evitar enfermedades causadas por agua de baja calidad y por presencia de heces, evitar mayormente inundaciones en zonas pobladas y además velar por la integridad ecológica de las aguas superficiales. El sistema es seguro para el usuario y garantiza un alto estándar higiénico por el control centralizado de los parámetros de calidad. Cada hogar únicamente requiere la instalación de una tubería de suministro de agua potable y una tubería de alcantarillado.

Por otro lado, es bastante conocido que se necesita una supervisión minuciosa y un mantenimiento continuo del sistema, lo que no es un problema exclusivo de los países en desarrollo. Las redes de distribución de agua potable y de alcantarillado se deterioran con el tiempo y se vuelven permeables. Esto no sólo causa enormes pérdidas de agua potable y contaminación de suelos y aguas subterráneas, sino que conlleva el peligro de que las aguas potables y de alcantarillado terminen mezclándose antes de llegar al consumo humano.

Hay que destacar que las enfermedades causadas por falta de higiene disminuyeron en Europa incluso antes de la implementación de los sistemas de alcantarillado, y que las ciudades de Londres y Hamburgo sufrieron epidemias a causa de aguas contaminadas, justo después de la introducción de canales de desagüe, es decir, por la contaminación con aguas servidas de los ríos Támesis y Elba, respectivamente. Aún hoy en día, los ríos en los países industrializados no tienen la calidad suficiente para permitir la natación, a pesar de que casi todas las aguas residuales pasan por plantas de purificación.

En su momento, el invento del alcantarillado mejoró la situación higiénica en las ciudades, pero dejó de lado otros problemas como el uso extenso e indiscriminado de agua potable, por ejemplo en los Estados Unidos llega a más de 300 litros diarios por persona. *El concepto de sistemas centralizados está en contradicción con importantes criterios de sostenibilidad.* Usando el agua como medio de transporte de desechos corporales y otras sustancias contaminantes, se mezclan dos ciclos importantes de la naturaleza, el ciclo del agua y el ciclo de los nutrientes. Con este concepto convencional de tecnología "al final del tubo" se solucionan los problemas agudos, pero no los problemas a largo plazo. (Berger, 2001; Schertenleib & Gujer, 2000).

Figura 3
Manejo centralizado del agua en sistema lineal

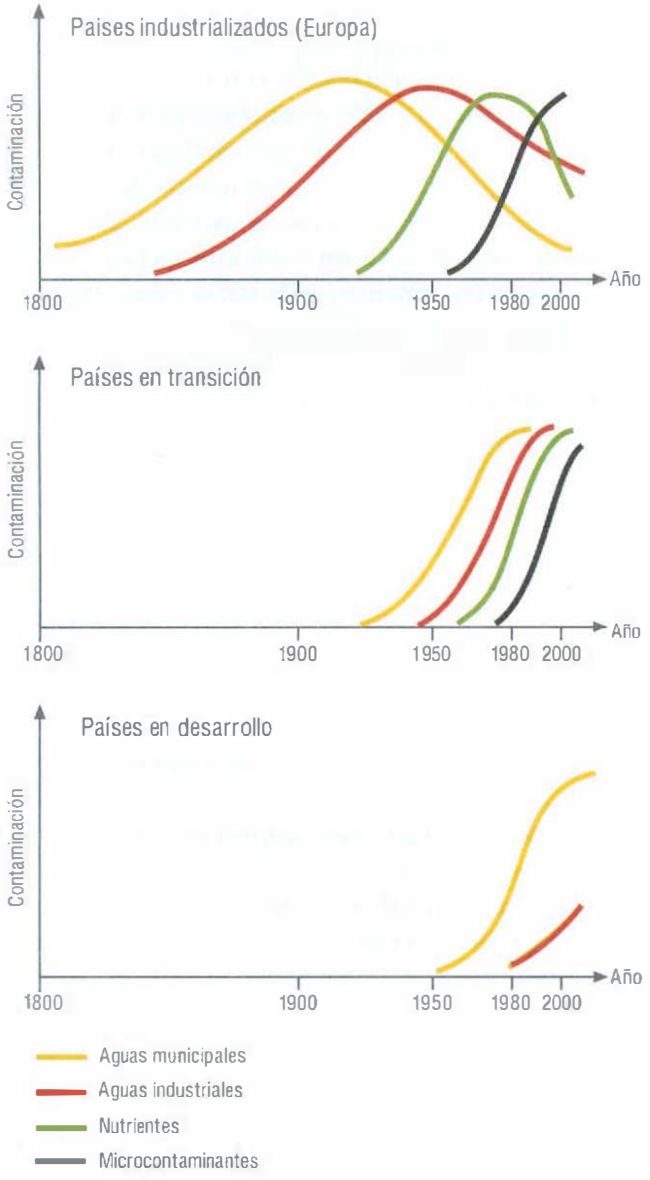


La explotación del agua en lugares ecológicamente valiosos daña a los ecosistemas, al igual que la extracción intensiva de las aguas subterráneas y la evacuación de aguas residuales concentradas. El sistema necesita enormes inversiones para su implementación y mantenimiento, e interrumpe el balance de aguas conllevando inversiones adicionales (sistema de empeoramiento *ad infinitum*). Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

En los países en desarrollo se evidencia que la situación higiénica se agrava con la implementación de redes de agua potable donde no hay alcantarillado y/o no existen plantas de purificación. Por el fácil acceso al agua, se produce más agua servida que antes, dispersándose con ésta los vectores de enfermedades. Por otra parte, la escasez de fuentes de agua disponibles, ya existente en muchas regiones del mundo, se agudiza por la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales.

Las megaciudades en Latinoamérica, Asia y África *no van a poder copiar los sistemas centralizados con éxito.* En los países en desarrollo, antes de solucionar los problemas higiénicos de las poblaciones, se aceleran y agudizan los problemas ecológicos causados en los cuerpos de agua. Mientras que en los países industrializados, los problemas más importantes de protección de los cuerpos de agua se manifestaron en forma secuencial y pudieron ser solucionados paso a paso, en los países en vías en desarrollo y en especial en los países en transición, los problemas suelen a aparecer todos a la vez. La principal causa para este proceso es el crecimiento acelerado de las poblaciones en las aglomeraciones urbanas. (figura 4, Schertenleib & Gujer, 2000).

Figura 4
Evolución de los problemas de la contaminación del agua



Dibujo basado en Schertenleib & Gujer, 2000.

Finalmente, por la estructura centralizada de estos sistemas se tiene poca flexibilidad y se llega a sus límites económicos, en especial en zonas rurales. Estos sistemas son contrarios a innovaciones y dificultan soluciones distintas a futuro.

1.1. Sistemas centralizados de agua potable

Las fuentes de agua potable son los grandes reservorios naturales de agua superficial, los grandes lagos y ríos caudalosos, los embalses para el almacenamiento de aguas superficiales corrientes, los glaciares, las vertientes de alta capacidad y las napas freáticas. Siempre se requieren altas inversiones para la construcción de las tomas y la potabilización de las aguas, así como para establecer la red de distribución del agua potable. La red de suministro necesita un mantenimiento constante para evitar pérdidas de agua de alta calidad. La tasa de pérdida, aun en sistemas bien mantenidos, generalmente alcanza hasta un 10%, en muchos casos más.

Especialmente en zonas densamente pobladas, se extrae un mayor volumen de agua del subsuelo para el abastecimiento de viviendas e industrias, de la que se puede renovar de manera natural por infiltración de aguas pluviales (Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, 2003). Esto lleva al agotamiento de las napas freáticas por debajo y alrededor de las grandes urbes, y a la necesidad de traer aguas de mayor distancia o a usar aguas superficiales de menor calidad. Muchas veces se tienen que explotar paisajes naturales de alto valor, dañando de esta manera el balance hídrico también en zonas alejadas de las ciudades. El transporte de las aguas desde zonas distantes y la potabilización de aguas de menor calidad significan importantes costos y empeoran los balances hídricos regionales y/o la calidad del agua potable. Un ejemplo lo constituye la provisión de la ciudad de Stuttgart en Alemania, que se abastece con agua del lago Constanza. Por la ubicación de la planta potabilizadora a orillas del lago, el agua potable necesita tres días para poder llegar al consumidor, lo cual hace necesaria su cloración (Feierabend, com. pers., 2003).

En Pekín el agua subterránea ha bajado su nivel en aproximadamente 130 m (<www.attac.de>), actualmente la tasa de descenso se encuentra alrededor de 2 m al año (Geiger, 2001). En la ciudad de México las napas freáticas descienden entre 30 y 40 cm por año (Wolter, com. pers., 2003).

Es importante resaltar que actualmente no se diferencia entre los requerimientos de calidad para usos distintos. En el sistema unificado de abastecimiento se provee para todo uso una sola calidad de agua. No se distingue entre agua potable para consumo humano y agua de servicio. La valiosa agua potable se malgasta como medio de transporte en el alcantarillado. Cada año se utilizan aproximadamente 15.000 litros de agua potable por persona para la eliminación de sólo 35 kg de residuos fecales y 500 litros de orina.

Las fuentes de agua potable de alta calidad son limitadas. Éstas se deberían usar sólo para el consumo humano, mientras que el agua de servicio podría ser de menor calidad. El sistema unificado de abastecimiento requiere de elevados volúmenes de agua cruda, por lo que se debe mezclar agua de diferentes calidades y purificar esa mezcla con altos costos. De esta manera, el agua potable disminuye en calidad, mientras que las inversiones para su potabilización aumentan continuamente.

La escasez de fuentes de agua aprovechables existente en muchas regiones del mundo se agudiza por la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales.

Las tendencias de desarrollo no sustentables más importantes son:

- La sobreexplotación de las aguas subterráneas.
- La reducción de los flujos en los ríos.
- La destrucción de humedales.
- La salinización de suelos.
- La contaminación de acuíferos con contaminantes persistentes, incluidas sales.

1.2. Sistemas centralizados de purificación de aguas servidas

Tanto para la distribución del agua potable como para el drenaje de las aguas usadas se necesitan largos recorridos. Para la implementación y el mantenimiento de la infraestructura de colección y evacuación segura de las aguas servidas, la red de alcantarillado consume costos mucho mayores que las plantas de tratamiento (Lehn, 2002). En la mayoría de las zonas urbanas de Europa, estos sistemas de alcantarillado consumen 70 al 80% de los costos totales de eliminación de las aguas servidas, incluidos los sistemas de tratamiento altamente sofisticados (Otterpohl & Oldenburg, 2007), en zonas rurales estos costos son todavía mucho más elevados.

Existen dos sistemas de infraestructura para el alcantarillado: el sistema mixto, que transporta las aguas pluviales de escurrimiento junto con las aguas servidas por el mismo tubo; y el sistema separado, con dos tubos paralelos para el transporte segregado de estas dos calidades de agua. En el sistema mixto, todas las aguas son conducidas hacia la planta de purificación. Por su parte, en el sistema separado sólo las aguas servidas van a la planta de purificación, las aguas de escurrimiento pluvial entran directamente al cuerpo receptor. Sin embargo, ambos sistemas finalmente conducen hacia la contaminación de las aguas superficiales.

Actualmente, en los países industrializados se favorece el sistema separado porque el sistema mixto requiere de mayores inversiones en las plantas de purificación, aumentando significativamente la cantidad de agua a tratar. Durante los eventos de tormenta, muchas veces el tamaño de la planta purificadora no alcanza y toda la mezcla de agua contaminada entra por rebalse al cuerpo receptor. En el caso de los sistemas de alcantarillado separados, las aguas de escurrimiento contaminadas, especialmente cargadas con metales pesados y derivados de petróleo por el lavado de techos y vías de tráfico, se derivan directamente hacia las aguas superficiales, sin ningún tipo de tratamiento. Aquí se encuentra el motivo de que, por ejemplo, en Hamburgo se instalaron las primeras plantas de tratamiento de aguas pluviales en forma de filtros de suelo con vegetación semiacuática (capítulo

7, subtítulo 4). Otro importante problema de los tubos largos de desagüe es su continuo mantenimiento para evitar pérdidas y el ingreso de aguas altamente contaminadas a las aguas subterráneas, que en algunos casos son las fuentes de abastecimiento de agua potable. La pérdida de aguas servidas en el sistema de alcantarillado de Alemania es de aproximadamente 10 a 15 litros por persona/día, es decir, entre 8 y 15% del consumo diario de agua (Lehn, 2002).

Las plantas convencionales de purificación de aguas servidas son grandes máquinas de destrucción de recursos y de energía. En vez de generar abono, se producen lodos que deben ser desechados. Con las aguas servidas se pierden sus contenidos en nutrientes como ser fósforo, nitrógeno, magnesio, potasio y otras sustancias valiosas. Los efluentes tratados eutrofizan los cuerpos de agua, mientras que los fertilizantes deben ser producidos industrialmente. El fósforo se explota en minas y el nitrógeno se genera a partir del aire. Para disminuir la eutrofización de las aguas superficiales se requiere de grandes cantidades de energía, materia prima y capital. En vez de generar energía a partir de los compuestos carbónicos contenidos, se usan grandes cantidades de energía en su destrucción. Aun en plantas sofisticadas de última generación, el grado de purificación siempre es insuficiente, en tanto que éstas no evitan la descarga parcial de nutrientes y de patógenos, ni la acumulación de contaminantes en los lodos de depuración y en los cuerpos de agua. Las exigencias son cada vez mayores y más costosas. (Hesse, 2002; Lange & Otterpohl, 2000; <www.akwasser.de>).

En la China y en otros países en Asia, que son usuarios tradicionales de los excrementos humanos, se ha demostrado que la aplicación del concepto convencional de los países industrializados, aparte de traer problemas ecológicos, también influye negativamente en el manejo de los recursos. Los nutrientes no sólo causan efectos negativos en los cuerpos receptores, sino al mismo tiempo hacen falta en la agricultura local, teniendo que ser reemplazados por costosos fertilizantes artificiales. (Schertenleib & Gujer, 2000).

Las plantas convencionales de purificación no pueden tratar adecuadamente el agua. Siempre queda un resto de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, incluso en plantas equipadas con nitrificación y precipitación química del fósforo, el cual entra a los cuerpos receptores y lleva a su eutrofización. De actual y cada vez mayor interés son las sustancias polares, con buena solubilidad en el agua y además persistentes, difícilmente degradables, que no pueden ser adsorbidas al carbón activado y por eso pasan por la planta de purificación sin mayor alteración. Estas sustancias son, por ejemplo, los compuestos de boro contenidos en detergentes, sustancias farmacéuticas y sus metabolitos. Hasta la fecha se detectó alrededor de 50 residuos diferentes de farmacéuticos en muchas aguas superficiales en Alemania, además varios tipos de farmacéuticos en aguas subterráneas y en el agua potable. Otro problema son las sustancias endocrinológicamente activas como las hormonas y las pseudohormonas. Por

otro lado, los efluentes contienen todavía microorganismos patógenos. En los cuerpos receptores resultan alrededor de 100 a 1.000 coliformes por 100 ml. La Unión Europea propone un límite permisible de 400 coliformes por 10 ml. Otros contaminantes que son sólo parcialmente retenidos son los metales pesados (Lehn, 2002).

En resumen, según lo han señalado también Otterpohl (1999), Lange & Otterpohl (2000), Larsen (2000), Lehn (2002), Niederste-Hollenberg & Otterpohl (2000), Werner *et al.* (2002), Otterpohl & Oldenburg (2007) y <www.gtz.de/ecosan>, estas plantas centralizadas de tratamiento convencional tienen varias desventajas:

- En la aplicación centralizada, los *costos para la red de alcantarillado* exigen aproximadamente el 70 a 80% de los costos totales para el drenaje y la planta de purificación. Esto es debido a las largas vías de transporte requeridas especialmente en el área rural, de tal modo que la relación de costos se desequilibra. Sin embargo, esto sucede también en zonas densamente pobladas.
- El mantenimiento de los tubos de alcantarillado es más costoso que su instalación. Por filtraciones en tubos dañados, contaminantes y patógenos pueden entrar al suelo y a los mantos freáticos. Estudios en la ciudad de Nottingham establecen la existencia de bacterias y virus derivados de la red de alcantarillado en acuíferos a profundidades de 50 m (Black, 2002). Debiéndose al menos colocar siempre la red de agua potable por encima de la red de alcantarillado y no a la inversa, a pesar de que esta solución es simplemente parcial debido al fenómeno de la saturación del suelo.
- Los sistemas separados no siempre segregan adecuadamente las aguas de diferente calidad, por la cantidad de instalaciones erróneas.
- En los sistemas mixtos las aguas de lluvia diluyen las aguas servidas y ocultan grandes cargas de contaminantes por su concentración mínima.
- La dilución de las aguas servidas por agua potable y aguas pluviales es la mayor causa para la *alta inversión en las plantas de purificación* correspondientes.
- *La mezcla de diferentes calidades de aguas residuales*, aguas domésticas, aguas hospitalarias y aguas industriales dificulta la purificación y aumenta los costos.
- *Una parte de las aguas servidas siempre entra sin purificación a los cuerpos de agua* superficiales debido a:
  - Canalización mixta: rebalses durante fuertes precipitaciones pluviales.
  - Canalización separada: entrada de aguas pluviales de escurrimiento.
- La entrada de nutrientes y contaminantes orgánicos e inorgánicos lleva a la eutrofización y contaminación de los cuerpos de agua superficiales. *Aproximadamente el 95% de las aguas servidas mundiales entran a los cuerpos receptores sin tratamiento adecuado.*

- *La técnica convencional de tratamiento comienza con la purificación de las aguas servidas, en un momento en el que ni la recuperación de los componentes valiosos y tampoco la del agua ya es posible.*
- Imposibilita el uso de los nutrientes contenidos en las aguas servidas por la dilución de éstas y por la mezcla de distintas aguas servidas domésticas, industriales y otras.
- En el tratamiento, el objetivo principal es la eliminación de los nutrientes en vez de su recuperación. Las sustancias valiosas contenidas en los excrementos y las aguas servidas se "eliminan" en las plantas de tratamiento convencionales con gran esfuerzo técnico y energético, es decir, se destruyen o entran a los cuerpos de agua.
- El nitrógeno se transforma con grandes costos, pero no se recupera.
- El fósforo de ninguna manera se elimina totalmente y es el factor más importante en la eutrofización de los cuerpos de agua.
- El potasio casi no se recupera.
- El fósforo y el potasio son nutrientes importantes que están presentes como recursos fósiles sólo en cantidades limitadas. Con el consumo actual, las reservas mundiales conocidas de fósforo sólo alcanzarán para 150 años y además los abonos fosfatados contienen cada vez más metales pesados. Sería deseable una recuperación del fósforo de las zonas urbanas, pero esto es difícil con el actual sistema.
- El enorme contenido energético de las sustancias orgánicas del carbono casi no se utiliza, aun en plantas de tratamiento sofisticadas.
- Se usan sustancias fósiles para los procesos químicos en las plantas de purificación.
- Los lodos generados durante la purificación de las aguas también contienen contaminantes antropógenos como compuestos orgánicos y metales pesados (microcontaminantes). Su suministro a la agricultura ya no es popular y en algunos países está prohibido. La cantidad de lodos aumenta continuamente por la implementación de tecnologías mejoradas. En resumen, los lodos de depuración son un gran problema ecológico y económico.
- Para garantizar nuestra producción alimenticia se producen fertilizantes químicos con alto costo de energía y recursos fósiles no renovables, lo que no es una alternativa para países en desarrollo, pues daña los suelos y contamina los cuerpos de agua. De esta manera, la falta de recuperación y devolución de materia orgánica, nutrientes y microelementos esenciales lleva a la degradación de los suelos.
- *La purificación en las plantas de tratamiento de aguas servidas es deficiente: nutrientes, contaminantes persistentes, metales pesados, microorganismos patógenos, compuestos farmacéuticos y otros aun se encuentran en los efluentes.*
- Los microorganismos patógenos casi no se destruyen ni se retienen en las plantas de purificación de aguas servidas, de tal modo que los cuerpos de

agua, incluso en caso de la existencia de plantas de tratamiento de las aguas servidas, se contaminan microbiológicamente.

- Aun los métodos más sofisticados de purificación y potabilización del agua no pueden garantizar la suficiente eliminación de sales, pesticidas, hormonas y sustancias cancerígenas, que finalmente también entran a las fuentes de agua potable.
- Los microcontaminantes en las aguas servidas (fármacos, compuestos de amizcle artificial y otros) son considerados como un nuevo problema en la protección de aguas. La discusión sobre hormonas y sustancias con efectos hormonales, así como la excreción de residuos de fármacos por sus usuarios, incluyendo las hormonas contraconceptivas, muestran otra debilidad de los sistemas sanitarios. Se vienen reportando peces andróginos en los cuerpos receptores de efluentes de plantas de purificación de aguas servidas.
- Otro problema es la posibilidad de *transferencia de resistencias contra antibióticos*, por su ingreso incontrolado al medio ambiente. Las plantas de purificación comunales presentan condiciones ideales para la dispersión de resistencias. En las descargas de plantas de purificación se encontraron bacterias resistentes hasta contra ocho antibióticos distintos. ¡Así se crea un gran riesgo para el sistema de salud!
- El agua potable sólo se puede generar con esfuerzos y costos cada vez más altos.
- *Los sistemas centralizados son altamente vulnerables*, sensibles a catástrofes (terremotos, acciones de guerra, inundaciones). En Japón se implementaron sanitarios secos después del terremoto de Kobe en 1995, cuando los sanitarios con uso de agua no podían ser utilizados debido a la escasez de este elemento y a la destrucción del sistema de alcantarillado (Black, 2002).
- Los sistemas convencionales descentralizados, como letrinas y pozos sépticos, tampoco son aptos, especialmente por el incremento en la densidad de la población. Además aportan a la contaminación de las aguas subterráneas.

La desventaja principal de los sistemas convencionales es su carácter lineal. Se trata de típicas soluciones "al final de tubo" que producen una serie de problemas en vez de solucionarlos. En este camino, valiosos recursos son degradados a contaminantes.

Los problemas en los países en desarrollo se agudizan todavía más por la aceptación y aplicación acrítica de los conceptos desarrollados y establecidos como norma en los países industrializados. Generalmente, la prioridad de la población y de las autoridades es el abastecimiento de todos los habitantes con agua potable y eso también es una de las prioridades de la Cooperación Internacional. Para lograr la sustentabilidad, el sistema de tarifas de agua debería cubrir los costos. Pero en realidad, la mayoría de los sistemas de abastecimiento de aguas en países en desarrollo no son capaces ni de cubrir los costos de operación ni de mantenimiento. Consecuentemente, el tratamiento de las aguas servidas, que

tendría que ser una parte integral de cualquier sistema de suministro de agua, en muchos casos ni siquiera es considerado. Por otro lado, los sistemas centralizados de abastecimiento de agua causan un mayor consumo y por eso mayor cantidad de aguas servidas, que se dispersan en el ambiente. De esta manera, en vez de reducirse las enfermedades originadas por el agua, ocurre todo lo contrario debido a la cantidad de aguas servidas no tratadas. Los medios financieros a veces se usan también en la implementación de redes de alcantarillado, mientras que, por lo general, no alcanzan para la implementación de las plantas de purificación correspondientes. En las grandes ciudades de Latinoamérica, la mayor parte de las aguas residuales se drena a través de sistemas de alcantarillado, pero sólo un 5% está conectado a alguna planta de purificación. (Schertenleib & Gujer, 2000; <www.gtz.de/ecosan>).

2. Características de los sistemas descentralizados

Small is beautiful (*Lo pequeño es lo hermoso*) se llama un libro de Ernst Friedrich Schumacher, de los años setenta (Schumacher, 1973, 1999). En su época, este libro no tuvo mucho impacto, pero actualmente entra más y más a la conciencia, incluso de los "tomadores de decisiones", que los sistemas centralizados traen muchos problemas en su manejo y son muy vulnerables. Si una planta de tratamiento para una gran urbe experimenta una falla, todo el sistema deja de funcionar; el número grande de plantas descentralizadas puede resultar en más fallas, pero aun en este caso, el impacto acumulado es menor. En zonas urbanas y semiurbanas, el riesgo de malfuncionamiento puede ser minimizado efectivamente por un mantenimiento profesional hasta usando modernos controles basados en sensores. Los sistemas pequeños de suministro y evacuación también causan contaminación, pero alcanzan, por la activación máxima de las fuerzas naturales, una mayor seguridad en la calidad del agua y mejoran el equilibrio en el ciclo de aguas. Ofrecen la posibilidad de mantener el balance natural de los ciclos de agua en forma autoreguladora y por ende también la estabilidad de los ecosistemas. El mejor manejo y el más económico es la conexión de los sistemas estructurales de manejo de agua con el balance natural del agua, así como cualquier esfuerzo de mantener este balance natural. (Krusche *et al.*, 1982; Otterpohl & Oldenburg, 2007).

Mientras los sistemas convencionales acentúan el ordenamiento de los usos primordiales de los cuerpos de agua, casi exclusivamente bajo aspectos económicos, los enfoques actuales se basan en la protección del recurso agua en su estado y balance natural, lo que incluye la protección de los cuerpos de agua como ecosistemas y el mantenimiento y la recuperación de los paisajes acuáticos típicos. En este sentido, a través de un manejo sostenible del agua, los puntos de vista ecológicos, económicos y sociales se llevarán a un óptimo. (Ellwart, 2000).

Los métodos descentralizados cumplen mejor con los tres principios para la protección de los cuerpos de agua y el medio ambiente en general: el principio de previsión; el principio del causante; y el principio de sostenibilidad.

Los nuevos sistemas, que pretenden ser más sostenibles que el sistema convencional, tienen que cumplir con los siguientes criterios, los cuales tienen que ser comprobados necesariamente en instalaciones demostrativas:

- Deben ser más económicos que los sistemas convencionales, tomando en cuenta todas las inversiones y costos de operación y mantenimiento, o por lo menos no deben costar más.
- Deben usar menos energía que los sistemas convencionales y en lo posible generar una ganancia de energía.
- Deben cerrar los ciclos de agua y nutrientes de mejor manera.
- Deben posibilitar una mejor protección de los cuerpos de agua.
- Deben garantizar los estándares higiénicos actuales.
- Deben ser técnicamente confiables bajo condiciones de trabajo normal.
- Deben contar con la aceptación social (BMBF, 2001; <www.akwasser.de>).

En Europa, hasta los años 80 del siglo pasado se concentraron los sistemas de provisión de agua por iniciativa estatal con el objetivo de aumentar la eficiencia, asegurar la calidad y posibilitar la supervisión del Estado.

Hoy en día cambiaron los conceptos, los políticos y administradores en la gestión del agua reconocen las ventajas de los sistemas descentralizados. Desde hace algunos años, en los países industrializados se acepta el tratamiento descentralizado en fuente, como la solución a largo plazo. (Ortner, 2001).

En el contexto rural, estas estrategias tal vez son más fáciles de implementar que en un contexto urbano, pero existen también ideas prometedoras para áreas densamente pobladas (Wyss *et al.*, 2000).

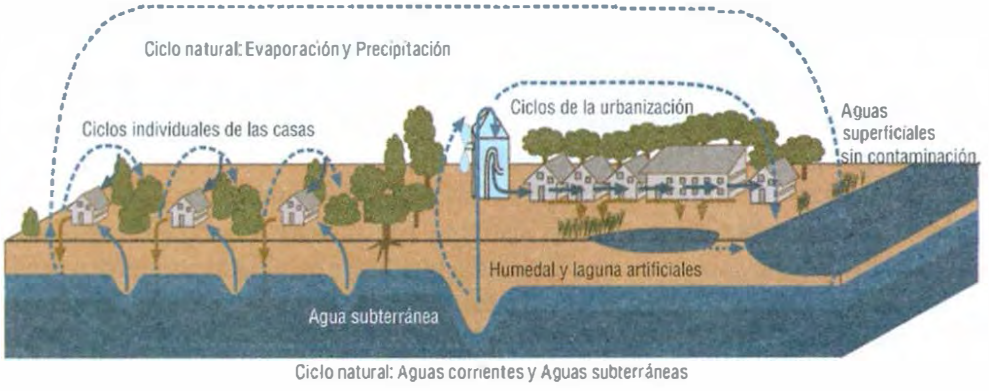
No se trata de cambiar de golpe los sistemas implementados. En las zonas urbanas, la reestructuración de los sistemas centralizados necesita a veces de grandes inversiones, sin embargo, el sistema puede ser cambiado paulatinamente. Medidas de ahorro de agua, el uso de las aguas de lluvia y el uso múltiple del agua pueden ser fácilmente implementados (Krusche *et al.*, 1982). Pero únicamente la implementación de medidas de ahorro parece tener poco sentido. Para optimizar y mantener el sistema de infraestructura existente, bajo todas las condiciones actuales, se debe reconstruir el sistema de infraestructura hacia una interconexión de elementos descentralizados y centralizados logrando así soluciones óptimamente integradas, y al mismo tiempo garantizando las funciones de suministro y drenaje para el futuro (Schramm, 1999).

Los sistemas descentralizados tienen las siguientes ventajas frente a los sistemas convencionales (según Krusche *et al.*, 1982; Ortner, 2001):

- Calidad máxima del agua potable (en caso de disponibilidad de fuentes no contaminadas). No se necesitan aditivos en forma de tóxicos higiénicos como

el cloro libre o sólo en mínimas cantidades. El agua se mantiene fresca, las vías cortas de distribución y el reducido tiempo de almacenamiento favorecen esta condición.
- La red de distribución es corta y tiene costos mínimos en su implementación y mantenimiento.
- Existen mayores posibilidades de control de todos los elementos técnicos.
- El balance local de aguas se estabiliza.
- Las aguas servidas pueden ser reutilizadas directamente, los nutrientes se reintegran a los ciclos naturales.
- Poco requerimiento de energía. Posibilidad de usar energías renovables. Generación de energía con ciertas tecnologías.
- No hay peligro de contaminación a gran escala.
- Independencia individual.
- Si uno de los sistemas de provisión falla, la cantidad de personas dañadas es menor, teniendo mayores posibilidades de una provisión de emergencia.
- Se puede tomar en cuenta la situación local, los sistemas son más transparentes, también para la población.
- La responsabilidad sobre el agua y su precio es competencia local.
- La cantidad de agua disponible se usa de manera más reducida.

Figura 5
Manejo descentralizado ecológico de aguas



Se usa el agua pluvial y se la devuelve localmente (lagunas, riego). El agua subterránea sólo se explota en cantidades mínimas. Las aguas servidas generadas por el uso se purifican y se devuelven, por eso no hay pérdidas ecológicas ni contaminación. Se necesita poca energía (uso de fuerzas naturales) y poca inversión para la distribución. El sistema estabiliza el balance de aguas y mejora de esta manera sus propias bases. Se autoregula por peces, plantas y polos consumidores mismos. Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

Las tecnologías para sistemas descentralizados se basan en metodologías probadas. Algunas ya se encuentran en uso por más de 100 años: sanitarios de compostaje, inodoros al vacío, inodoros de separación de orina y heces, urinarios sin agua, plantas de biogás, tratamiento de aguas grises, recirculación y reuso de

aguas grises, manejo descentralizado de las aguas pluviales (Niederste-Hollenberg & Otterpohl, 2000).

Los nuevos conceptos y los modernos elementos técnicos para su implementación fueron desarrollados durante los últimos años en los países industrializados. Los distintos elementos técnicos aportan de diferente manera a disminuir el consumo de agua y la cantidad de las aguas servidas, y a aumentar la eficiencia en el uso de los recursos. Los siguientes elementos técnicos ya son disponibles:

- Equipos domésticos de bajo consumo de agua (lavadoras de ropa y vajilla).
- Técnicas sanitarias de bajo consumo de agua (en inodoros, urinarios, grifería y duchas).
- Sanitarios de compostaje, con uso del producto final como abono.
- Inodoros separadores de heces y orina, con uso de los dos componentes como abono.
- Plantas de biogás, para la generación de energía y abono a partir de la materia orgánica proveniente de inodoros, cocinas y áreas verdes.
- Uso de aguas pluviales, especialmente para los inodoros, lavadoras de ropa, limpieza y riego; en algunas regiones también para la generación de agua potable.
- Reciclaje de las aguas grises de las duchas para su uso en inodoros, máquinas lavadoras, limpieza y riego.
- Plantas de tratamiento para reciclaje a nivel de vivienda, por ejemplo humedales artificiales o equipos a técnica de membrana, infiltración de las aguas servidas tratadas y/o drenaje hacia un cuerpo receptor.
- Reducción del escurrimiento de las aguas pluviales por desellado de superficies, techos naturados, infiltración y retención de las aguas.

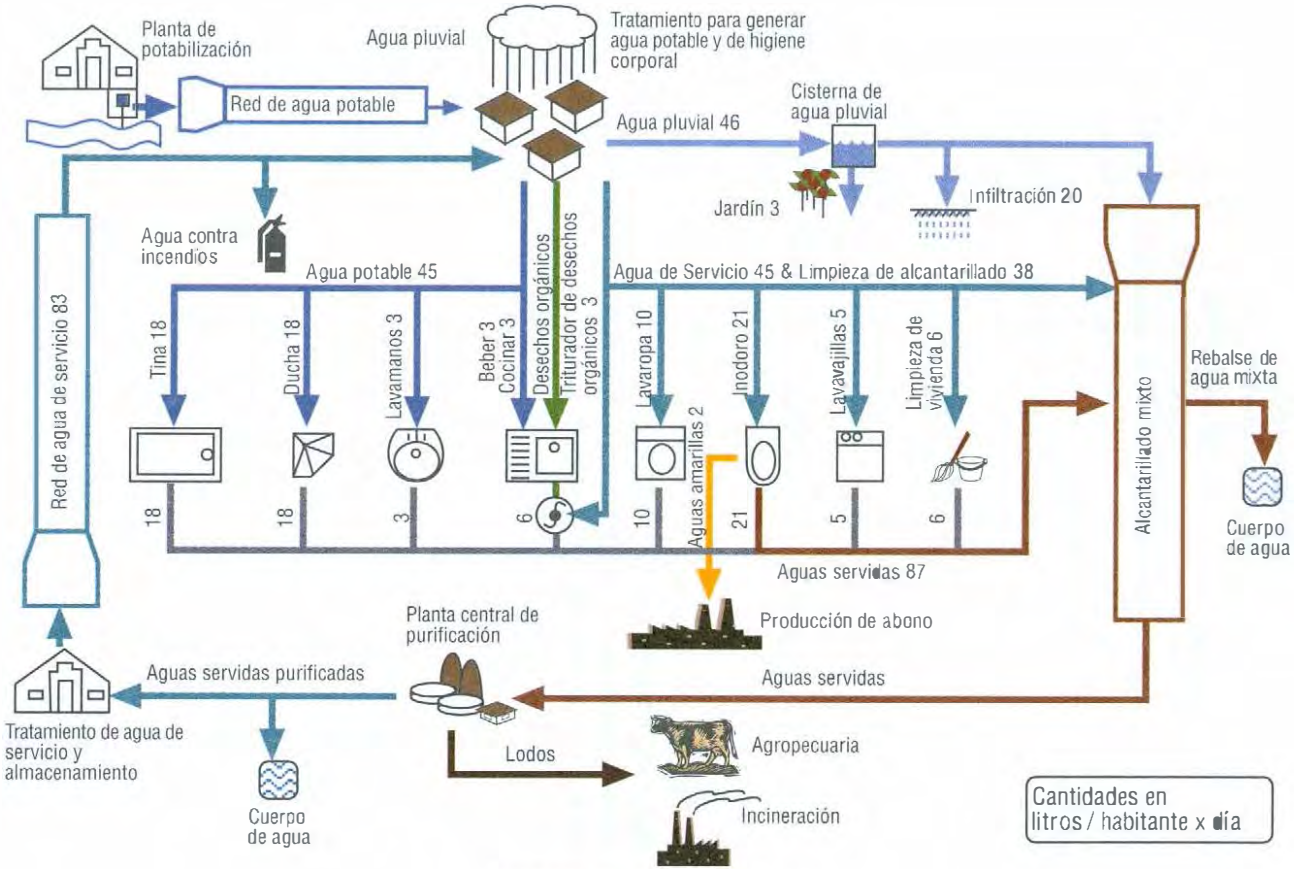
Muchos de estos componentes actualmente ya se instalan en casas privadas y edificios públicos, y su utilidad, no sólo ecológica sino también económica, ha quedado comprobada, más aún si se puede ahorrar de esta manera no sólo agua, sino adicionalmente energía a través de la reducción del uso de agua caliente y por métodos de recuperación de calor. (Hiessl & Toussaint, 2002).

3. Estudios económicos

3.1. Estudio AKWA 2001 en Alemania

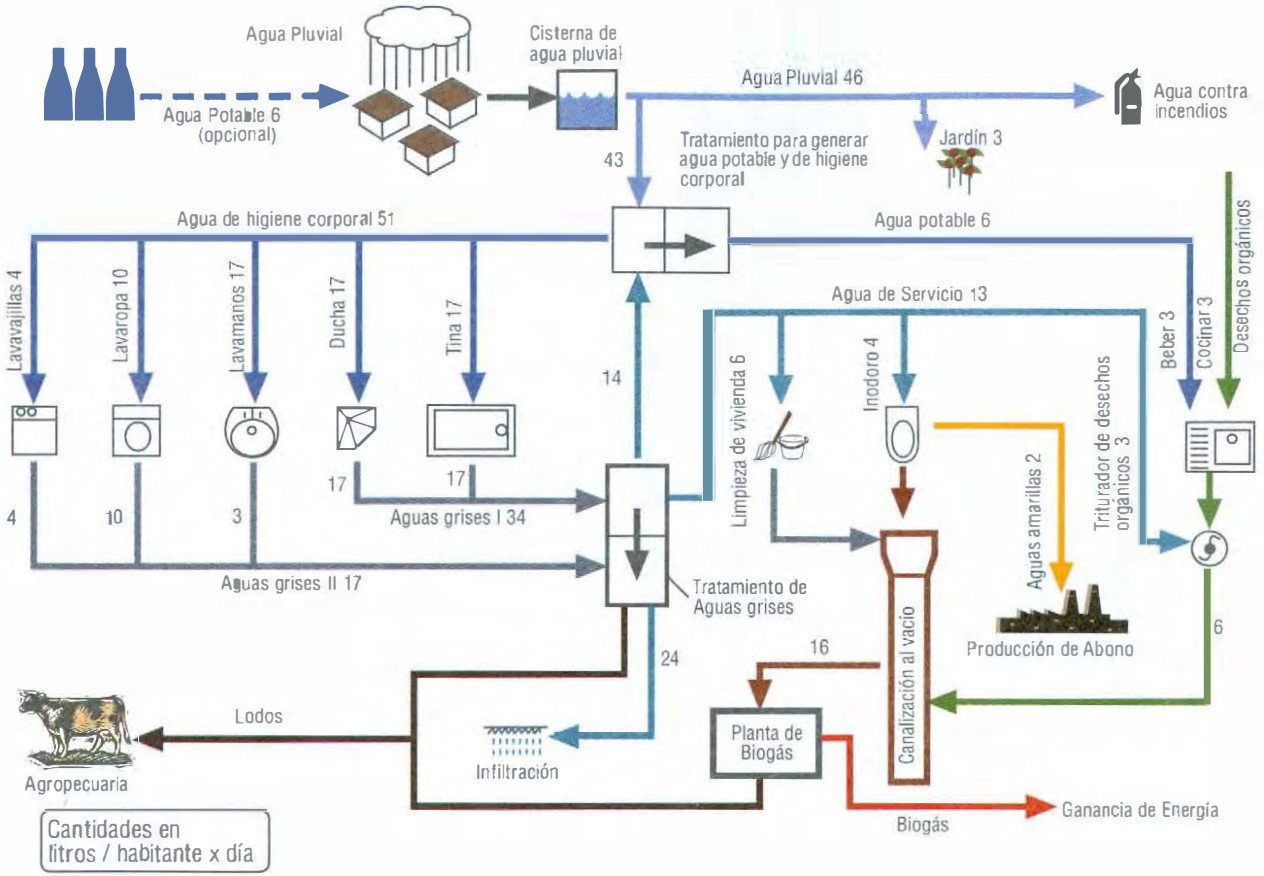
En el marco del proyecto "Alternativas para el Suministro y la Evacuación de Aguas en las Comunas" (AKWA 2100, estudio realizado por Hiessl & Toussaint, 2002) en Alemania, se evaluaron escenarios alternativos de sistemas de infraestructura de agua, en comparación con los sistemas convencionales existentes, en dos comunas, basado en las posibilidades de su implementación, rentabilidad y sostenibilidad. Se evaluaron tres aspectos:

Figura 6
Ciclo comunal del agua, escenario AKWA 2100



Dibujo basado en Hiessl & Toussaint, 2002.

Figura 7
Ciclos a nivel del hogar, escenario AKWA 2100



Dibujo basado en Hiessl & Toussaint, 2002.

- La situación actual sin cambios en el futuro (escenario de referencia).
- Escenario de un ciclo comunal de agua (figura 6).
- Escenario de ciclos de agua y sustancias en espacios reducidos, es decir, a nivel de vivienda y urbanización (figura 7).

Las diferencias esenciales entre estos tres escenarios son: el grado de separación de los flujos diferenciados de aguas servidas, la cantidad de agua ofertada de distintas calidades, el grado de diferenciación y la extensión espacial de los ciclos de agua, y el grado de descentralización de los elementos técnicos utilizados para el tratamiento de las aguas de servicio y las aguas servidas (Hiessl & Toussaint, 2002, 2004).

Escenario 2: ciclo comunal (figura 6)

Gran parte de las aguas pluviales se separa del flujo de las aguas servidas. Las aguas pluviales se infiltran y/o son usadas. Gran parte de las aguas servidas son tratadas y distribuidas en una red separada para su reuso como agua de servicio en las viviendas y la industria. El dimensionamiento de la red de agua potable disminuye sustancialmente.

Escenario 3: ciclos a nivel de hogar (figura 7)

Se trata de un sistema completamente descentralizado. No existe una red de suministro ni una red de alcantarillado con planta de purificación central. Las edificaciones o grupos de edificios tienen su propio suministro y evacuación de aguas servidas. El agua potable se genera en base a aguas pluviales. El agua para la higiene corporal también se genera a partir de las aguas pluviales y adicionalmente desde las aguas grises originadas en las duchas. La mayor parte de las aguas grises se purifica en menor grado para su uso como agua de servicio, por ejemplo, en los inodoros. Se implementan inodoros separadores de orina y residuos fecales, con flujo mínimo de agua. La orina se almacena y se recoje regularmente para su uso en la agricultura. Las aguas cafés, conjuntamente con los desechos orgánicos de la cocina, son eliminadas mediante un sistema de vacío y son tratadas anaeróbicamente generando biogás, que se usa energéticamente y los lodos del sistema de biogás se aplican en la agricultura. Debido a que se implementan equipos de bajo consumo de agua, la necesidad de tratamiento de aguas pluviales es mínima. (Hiessl & Toussaint, 2002).

Evaluación económica y de sostenibilidad

En la evaluación económica de las inversiones y el mantenimiento se tomó en cuenta sólo los costos reales de los usuarios. Los efectos a nivel de la economía

pública, por ejemplo, los efectos ecológicos son difíciles de evaluar y no fueron incluidos. Por este motivo se incluyó una evaluación de la sostenibilidad de los diferentes escenarios, en sentido de sus ventajas económicas, sociales y ecológicas, que en su conjunto representan la sostenibilidad total de los sistemas. (Hiessl & Toussaint, 2002).

En todos los casos el escenario 3, con los sistemas totalmente descentralizados, cuenta con la mayor sostenibilidad, por las siguientes causas (según (Hiessl & Toussaint, 2002, 2004):

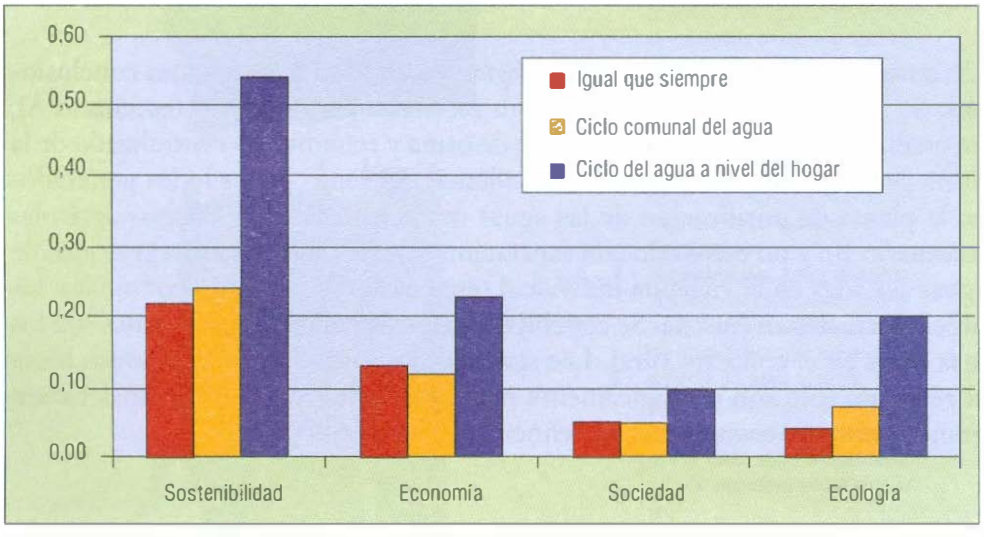
Ventajas ecológicas: muy poca contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y reducción de las cargas hidráulicas.

Ventajas sociales: sistema modular con alta flexibilidad y sin inmovilizar capital por construcciones de larga vida, dejando espacios de decisión para las generaciones futuras y un desarrollo futuro de la tecnología. Aplicabilidad en distintas zonas climáticas y en diferentes condiciones políticas y sociales. *Mayor responsabilidad de los usuarios.*

Ventajas económicas: modularidad y flexibilidad del sistema, implementación de reales elementos competitivos en el manejo de aguas a nivel comunal, posibilidad de implementar nuevos servicios y una mayor cantidad de puestos de trabajo para la implementación y el mantenimiento de los sistemas.

Evaluación de la sostenibilidad en base a los efectos sobre la economía nacional (figura 8):

Figura 8
Evaluación de sostenibilidad de los tres escenarios de manejo de aguas



Fuente: Hiessl & Toussaint, 2002

Se incluyó esta evaluación basada en 39 criterios de sostenibilidad divididos en tres rubros: economía, sociedad y ecología, para poder medir los efectos a nivel de la economía pública.

Las ventajas ecológicas observadas en el escenario 2, el ciclo comunal del agua, se explican por la disminución del uso de agua potable y también por la disminución de la cantidad de las aguas servidas, además de la disminución de las cargas hidráulicas en los cuerpos receptores (figura 8) (Hiessl & Toussaint, 2002).

Para la evaluación económica, en el caso de Alemania se consideraron los costos reales para el suministro de agua, la evacuación y purificación de las aguas servidas, sin contar con subvenciones. Las evaluaciones económicas son sólo parcialmente transferibles a la situación existente en países en vías de desarrollo, por los diferentes costos de implementación, operación y mantenimiento de los sistemas. Sin embargo, por tratarse de costos reales, se adecuan a cualquier situación (Hiessl & Toussaint, 2002).

Los resultados muestran que los conceptos alternativos al sistema convencional centralizado de infraestructura urbana de agua se encuentran disponibles, son más sostenibles, y tecnológicamente y económicamente factibles. Uno de los obstáculos para la transformación de los sistemas actuales es el largo tiempo de transición. Esto contrasta fuertemente con los periodos legislativos cortos de las autoridades municipales. Otro problema es la poca experiencia en la organización y el manejo de fases prolongadas de transformación. El único camino para aprender es la realización de estas transformaciones de sistemas en proyectos pilotos (Hiessl & Toussaint, 2004).

3.2. Estudio en Austria

Un *estudio austríaco para un pueblo ecológico modelo* lleva a las mismas conclusiones. Se investigaron tres escenarios, un escenario convencional (escenario A), un escenario con recolección separada de orina y tratamiento centralizado de la orina para su reuso en la agricultura, además del reuso de los lodos generados en la planta de purificación de las aguas municipales en los campos agrícolas (escenario B), y un escenario con separación y reuso de los flujos segregados de aguas servidas en la vivienda individual (escenario C), tomando como base los precios actuales en Austria. Se concluye que los sistemas convencionales son los más caros en el contexto rural. Los sistemas descentralizados orientados hacia el reuso no sólo son ecológicamente más sostenibles, sino que además tienen grandes ventajas económicas. (Lechner & Langergraber, 2003).

Tabla 1
Costos de inversión y operación (en €) en tres escenarios de manejo de agua, en Austria

	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
INVERSIÓN			
Alcantarillado	10.150	10.150	-
Tratamiento	4.500	4.544	4.433
OPERACIÓN/por año			
Alcantarillado	100	100	-
Tratamiento	400	360	120
Depreciación	800	840	290

Basado en Lechner & Langergraber, 2004.

Los sistemas descentralizados pueden resultar muy económicos cuando son producidos de forma estandarizada y en números grandes. Además, se producirán más oportunidades de empleo de largo plazo (Otterpohl & Oldenburg, 2007).

3.3. Estudio en la ciudad de Berlín

En la Universidad Técnica de Berlín (Alemania) se estudian los *impactos ambientales de diferentes opciones en el manejo de aguas en zonas urbanas*, en base al modelo concreto de la ciudad de Berlín. Actualmente, se investigaron cuatro escenarios, dos convencionales y dos alternativos (Muehleck *et al.*, 2004).

Escenario 1: sistema convencional actual, con nueve plantas de purificación de aguas residuales, incluida la eliminación de nitrógeno y fósforo.

Escenario 2: sistema convencional actual, incluidos sistemas de microfiltración del efluente final para reducir la entrada de nutrientes y materia orgánica a los cuerpos de agua receptores.

Escenario 3: sistema alternativo con separación de heces y orina en inodoros al vacío, y tratamiento conjunto de la masa fecal con desechos sólidos orgánicos en plantas de biogás. Uso de orina y lodos como fertilizantes en cultivos agrícolas.

Escenario 4: sistema alternativo con inodoros separadores de orina. Sólo la orina se usa como fertilizante.

Los resultados muestran una reducción de las emisiones de nutrientes a los cuerpos receptores, en el escenario 2 y los escenarios alternativos, un incremento alto en el reciclaje de nutrientes, en ambos sistemas alternativos, y una reducción

importante de la entrada de contaminantes al suelo agrícola, por el uso de los lodos y orina resultantes como fertilizantes, comparado con el uso de los lodos de depuración de las plantas de tratamiento convencionales. La emisión de gases invernadero es semejante en todos los escenarios. (Muehleck *et al.*, 2004).

4. Resumen

El manejo descentralizado del agua requiere de nuevos sistemas mejorados en la explotación de las fuentes de agua, en el tratamiento de las aguas servidas y en el uso del agua (Krusche *et al.*, 1982). La situación en los países industrializados y los países en vías de desarrollo es distinta. Mientras que la estrategia de solucionar los problemas en su fuente de origen es aplicable en ambas situaciones, la implementación y aplicación concreta es muy diferente, dependiendo de la situación física, socioeconómica e institucional.

El presente libro describe las técnicas modernas disponibles, simples y sofisticadas, en este campo.

III

Niveles de implementación

La vivienda es el centro de solución de los problemas de suministro de agua y saneamiento.

Desde hace varios años se percibe la necesidad de desarrollar un nuevo paradigma y nuevas estrategias en el campo del manejo de aguas y en especial de la higiene sanitaria. Si se siguen implementando las prácticas sanitarias actuales, con el fin de lograr el cumplimiento de las Metas de Desarrollo del Milenio planteadas en la Cumbre de Johannesburgo para el Desarrollo Sostenible (2002), se pueden tener consecuencias desastrosas para la salud y el medio ambiente. Se comprobó que por las técnicas convencionales no se pueden mejorar las condiciones de vida de las poblaciones pobres. Aun en los países industrializados, los conceptos convencionales no son sostenibles. Se deben desarrollar soluciones descentralizadas tomando en cuenta a los usuarios y buscar una interconexión más fuerte entre el manejo de desechos líquidos y sólidos para aprovechar mejor las sinergias y ahorrar costos. *La protección ambiental y la protección de las reservas de agua potable exigen el reuso sistemático de los nutrientes contenidos en las aguas servidas y los desechos sólidos.* (Morel, 2003).

En respuesta a la situación actual en el manejo de aguas y los problemas resultantes a nivel mundial, el Cuarto Foro Global del Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento (Water Supply and Sanitation Collaborative Council, WSSCC) lanzó en Manila, en noviembre 1997, una Iniciativa Global de Saneamiento Ambiental y creó un grupo de trabajo internacional para el desarrollo de visiones para el siglo XXI. Este Grupo de Trabajo de Saneamiento Ambiental se reunió en marzo 1999 en Hilterfingen (Suiza) para desarrollar el primer borrador sobre medidas sanitarias ecológicas, creando el Modelo Centrado en la Vivienda. Este concepto fue subrayado y afinado en los principios de Bellagio, en febrero de 2000, incluyéndose en el documento de Visión 21, y fue presentado en el Segundo Foro Global del Agua en La Haya en

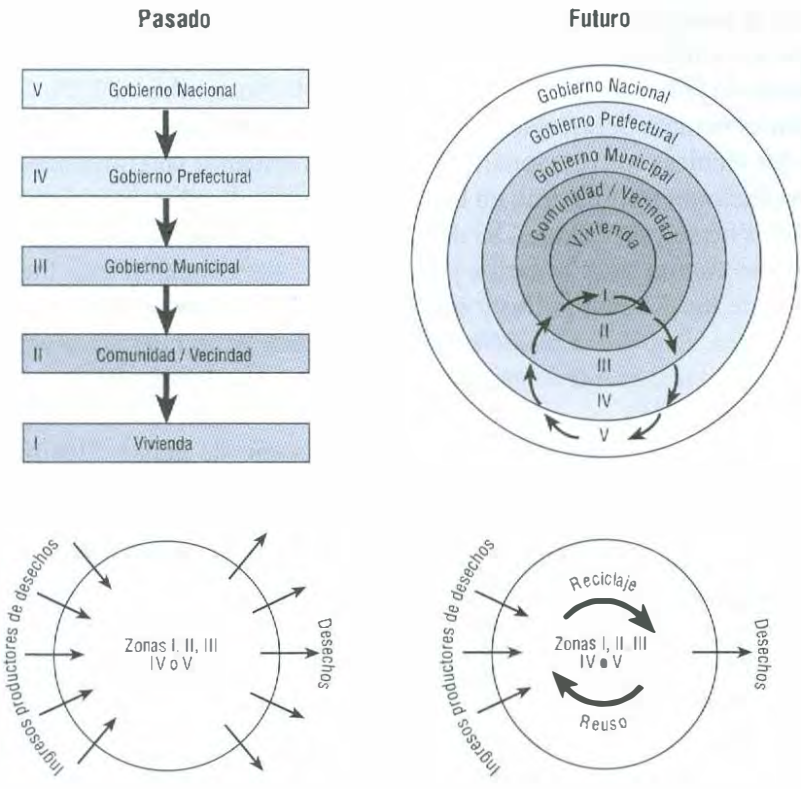
marzo de 2000. (GTZ, 2003; Morel, 2003; Schertenleib & Gujer, 2000; Schertenleib *et al.*, 2003; SESP, 2003).

El concepto centrado en la vivienda es una despedida radical de la planificación centralizada convencional (Morel, 2003). Se ha desarrollado principalmente para el sector sanitario, pero se debe aplicar a todas las ramas del manejo de aguas.

Los métodos descentralizados de manejo de aguas pluviales, de suministro de agua y de tratamiento y descarga de las aguas servidas en lo posible tienen que instalarse en fuente, es decir, a escala individual de casa, edificio y/o urbanización. Las medidas incluyen las soluciones técnicas en el lugar, el control de su funcionamiento a nivel municipal, y la reglamentación correspondiente a nivel municipal, departamental y nacional.

El principio de solucionar los problemas en fuente se conoce desde hace tiempo en la industria, donde se ha comprobado que muchas medidas se amortizan en corto a mediano plazo. Es tiempo de implementar este principio también en los municipios. ¡La exportación de los problemas no es una solución, sino un traslado!

Figura 9
Esquema del Modelo Centrado en la Vivienda



Dibujo basado en Morel, 2003

El modelo muestra que la salida de desechos sólidos y líquidos en cada círculo se minimiza por: (a) reducción radical de entradas generadoras de desechos, como agua, sustancias y bienes, y (b) reciclaje y reuso sistemáticos dentro de cada círculo. El proceso comienza en la vivienda, donde el usuario decide qué nivel de servicio requiere y qué puede pagar, basándose en la información disponible de costos, beneficios y responsabilidades en la operación. El próximo círculo de actividad es la vecindad o comunidad, que se ocupa de las funciones que no pueden asumirse en la vivienda individual. La comunidad pasa las responsabilidades que no puede resolver al próximo círculo, el municipio o el gobierno distrital. Es importante resaltar que sólo frente a tareas que quedan fuera de la capacidad de un círculo se deba pasar al círculo superior. En la vivienda pueden realizarse muchas de las responsabilidades relacionadas con el suministro de servicio. En los próximos círculos, las soluciones técnicas tienden a disminuir, mientras que las tareas administrativas y políticas aumentarán. El último círculo (gobierno nacional o dirección de cuenca) se encarga del desarrollo de políticas de saneamiento ambiental, de las planificaciones estratégicas y de las reglamentaciones. (EAWAG/SANDEC, 1999; Morel, 2003; Schertenleib, 2000).

Las ventajas del Modelo Centrado en la Vivienda son las siguientes (según EAWAG/SANDEC,1999; Kalbermatten *et al.*, 1999):

- Equilibra las necesidades humanas y ambientales, siendo probablemente más sostenible que cualquier otro modelo actualmente en uso.
- Puede ser aplicado sin tomar en cuenta el sistema político, pero necesita un compromiso hacia la participación popular.
- Fomenta el desarrollo de microempresas y trabajo local.
- El concepto básico se puede aplicar tanto en países industrializados como en países en desarrollo. Puede implementarse en cualquier lugar, independientemente de su nivel económico, el tamaño de la población, y las características ambientales a nivel micro y macro. Es igualmente aplicable a una vecindad urbana en Estados Unidos o Europa, como a un pueblo en África o Sudamérica. Los principios son los mismos, pero las soluciones técnicas tienen que diferir.

La siguiente lista es una síntesis de las medidas posibles y los niveles de implementación deseados. Las medidas más importantes para cada nivel están en cursiva.

Nivel individual:

1. *Ahorro de agua por reducción del consumo*
2. *Implementación de sanitarios ecológicos*
3. Uso de aguas pluviales
4. Reciclaje de aguas grises
5. *Desellado de superficies*
6. *Naturación de techos*

7. Retención e infiltración de aguas pluviales
8. Purificación de aguas servidas

Nivel de urbanización y barrio:
1. Todas las anteriores marcadas en cursiva
2. *Uso de aguas pluviales*
3. *Reciclaje de aguas grises*
4. *Retención e infiltración de aguas pluviales*
5. *Purificación de aguas servidas*

Nivel de municipio:
1. Todas las anteriores marcadas en cursiva
2. *Desellado de superficies*
3. *Retención e infiltración de aguas pluviales*
4. *Diseño de plazas y áreas verdes incluyendo métodos de reciclaje, infiltración y retención de aguas; integración de los métodos en el diseño estético arquitectónico y paisajístico y en las funciones sociales y de recreación de las áreas verdes*
5. *Sensibilización y conscientización de la población*
6. *Reglamentación y desarrollo de incentivos*

Nivel regional y nacional:
1. Políticas y planificación estratégica
2. Reglamentaciones y legislaciones favorables para la descentralización
3. Elaboración de normas
4. Incentivos
5. Fomento de estudios y evaluaciones, desarrollo de tecnologías y proyectos modelo en conjunto con profesionales, industria y usuarios (Private Public Partnership y partipación popular)

Varias medidas se pueden combinar entre diferentes niveles, especialmente en zonas densamente pobladas, donde faltan espacios para la implementación individual completa de todas las medidas técnicas. Por otro lado, se están desarrollando ideas de usar parcialmente la infraestructura existente para soluciones alternativas, debido a las dificultades de un cambio radical y rápido. En este tema trabaja el proyecto Novaquatis de la EAWAG, en Suiza. Se propone la recolección separada de la orina en los edificios y su transporte nocturno por el alcantarillado existente a su lugar de reuso. El transporte en horas nocturnas específicas, cuando el uso normal del alcantarillado es mínimo, evita la mezcla de la orina con otras aguas en el sistema. (Larsen, 2000; Novaquatis, [s/f]).

Existen diferentes definiciones de sistemas descentralizados en la bibliografía. Estrictamente sólo las medidas a nivel de vivienda o edificio se pueden llamar medidas descentralizadas, las medidas a nivel de urbanizaciones o barrios ya

serían sistemas centralizados. Como difieren sustancialmente en tamaño de un sistema convencional centralizado y como varias medidas se pueden optimizar juntando grupos de viviendas, en este libro las soluciones a nivel de urbanización y barrio se incluyen en los sistemas descentralizados.

Sistemas descentralizados	Viviendas y edificios individuales
Sistemas semidescentralizados	Grupos de casas hasta nivel de urbanización
Sistemas semicentralizados	Barrio o pueblo pequeño
Sistemas centralizados	Pueblos extensos y ciudades

En el texto se tratan a detalle los conceptos y las soluciones técnicas, pero no se incluyen las medidas administrativas necesarias para fomentar su implementación.

El siguiente esquema (figura 10) trata de ordenar las medidas descentralizadas y sus efectos para lograr las metas principales en el manejo de aguas.

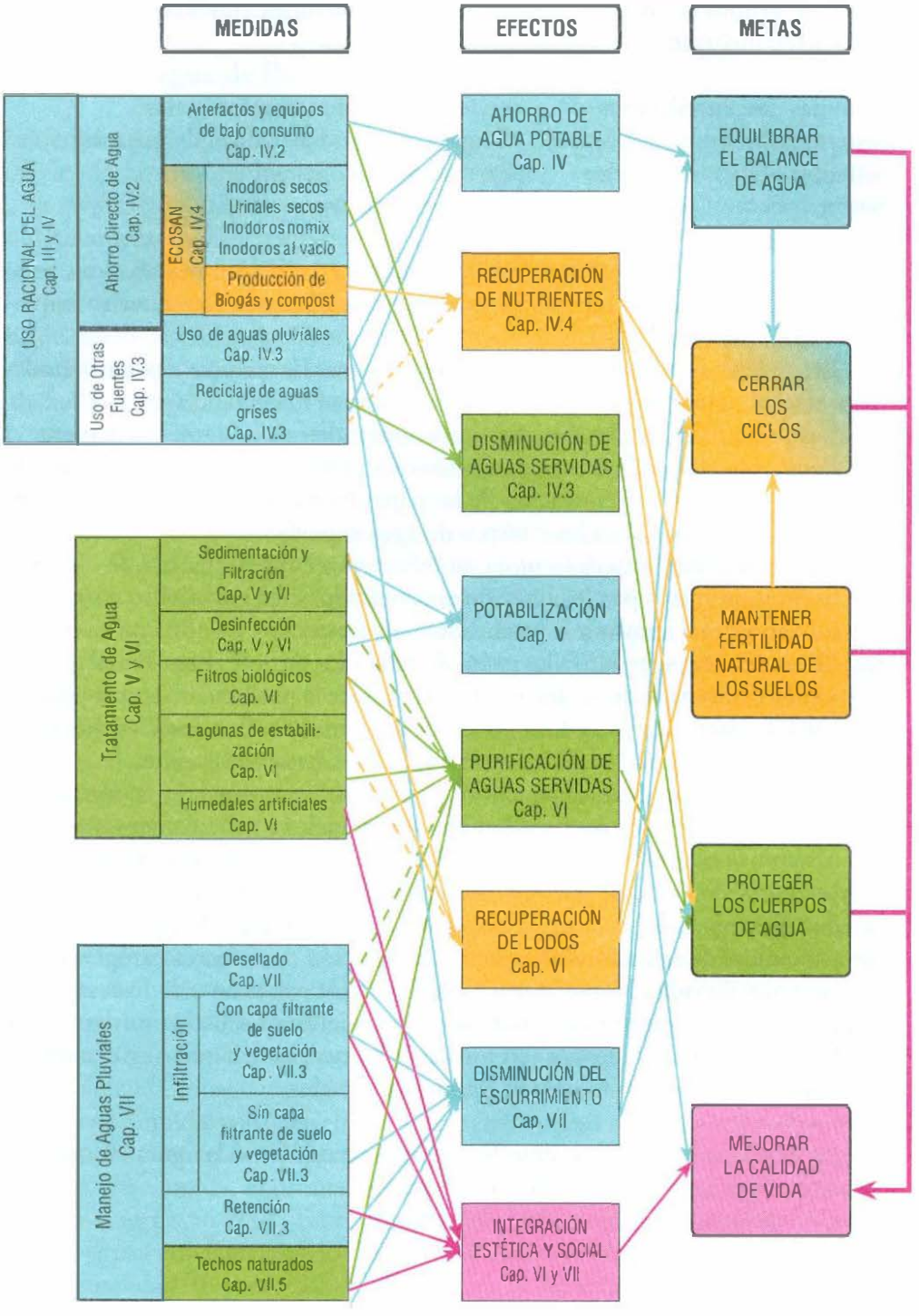
Las principales metas identificadas se entienden de la siguiente manera:

1. *Equilibrar el balance de aguas*, se refiere a restablecer los ciclos locales de agua, garantizar la renovación de las napas freáticas y evitar las variaciones extremas de caudal en los cuerpos de agua superficiales.
2. *Mantener la fertilidad de los suelos*, se refiere al reemplazo parcial de los fertilizantes químicos por los nutrientes contenidos en los desechos corporales humanos y así apoyar a la producción autosostenible de alimentos.
3. *Cerrar los ciclos*, se refiere a los ciclos de agua y los de nutrientes. Por el manejo local y disgregado de las aguas servidas se tiene la posibilidad de recuperar el agua de buena calidad y los nutrientes contenidos en los desechos líquidos, y entregar el agua y los nutrientes a los ciclos naturales locales.
4. *Proteger los cuerpos de agua*, significa evitar en gran medida la entrada de contaminantes a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.
5. *Mejorar la calidad de vida*, es el objetivo principal del manejo sostenible de las aguas. Se refiere, por un lado, a una distribución equitativa del agua de consumo, acceso de cada persona a agua limpia y a la disminución de problemas de salud causados por la distribución de vectores patógenos con las aguas servidas, lo que es primordial para los países en vías de desarrollo. Por otro lado, también se refiere al mejoramiento paisajístico y urbano, por la integración de biótopos (en forma de humedales y lagunas) y elementos arquitectónicos con funciones estéticas y sociales.

La secuencia en este libro sigue las medidas agrupadas en la figura 10, creando como temas principales del libro los siguientes:

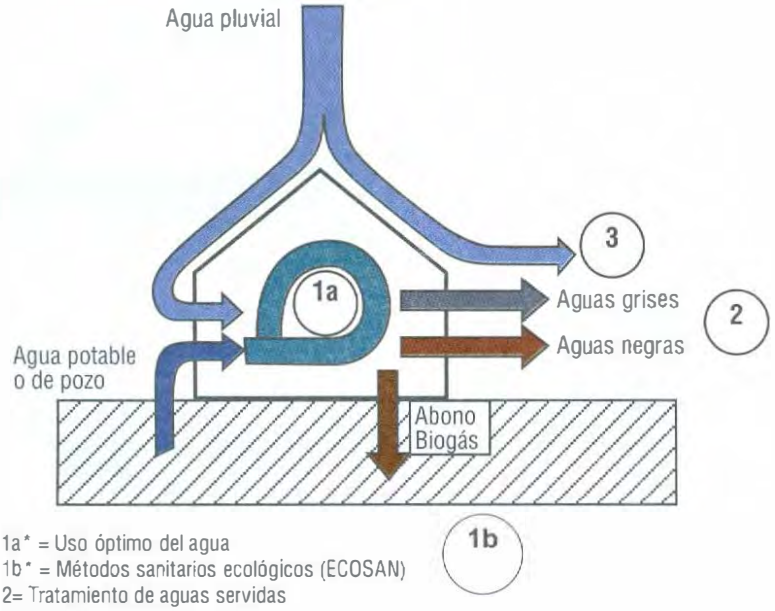
- Uso racional del agua
- Tratamiento de aguas
- Manejo de aguas pluviales.

Figura 10
Medidas y efectos del manejo integrado descentralizado de aguas



La figura 11 ilustra la interconexión de estas medidas.

Figura 11
Interconexión del uso de agua en la vivienda con el tratamiento local de los flujos segregados de aguas servidas y el manejo de las aguas pluviales generadas en el terreno



1a* = Uso óptimo del agua
1b* = Métodos sanitarios ecológicos (ECOSAN)
2= Tratamiento de aguas servidas
3= Manejo de aguas pluviales
* corresponden al ahorro de agua

IV

Ahorro del recurso agua

Actualmente, la "casa de bajo consumo energético" es estándar técnico. En el futuro, la "casa de 3 litros" va a ser estándar técnico.
(Nolde, 2002)

La *creciente demanda de agua* en las viviendas privadas depende, por un lado, del crecimiento global de la población, por otro, de los procesos de urbanización en los países en desarrollo (Scheele & Malz, 2007a).

El uso de agua en los países europeos está aproximadamente entre 100 y 150 litros por persona y día, mientras en los Estados Unidos son 300 litros. Por otro lado, en las zonas rurales áridas del África se usan sólo 20 litros por persona y día. (Scheele & Malz, 2007a).

La OMS y la Agencia para Desarrollo Internacional de los Estados Unidos estiman un requerimiento de agua de 20 a 40 litros por persona y día, mientras que la Comunidad Europea estima unos 80 litros por persona y día (Scheele & Malz, 2007a).

Tabla 2
Consumo promedio de agua potable en un país industrializado

Uso	Consumo en %
Retretes	32
Limpieza	5
Riego	3
Lavado de ropa	13
Higiene corporal	38
Lavado de vajilla	7
Comer y beber	2

Fuente: Umweltbundesamt, 2001.

Se puede minimizar la cantidad necesaria de agua significativamente por usos alternativos y medidas de ahorro. Usos dobles (por ejemplo: agua de lavado para el inodoro), programas modernos de ahorro de agua en lavadoras de ropa y de vajilla, o simplemente cambios en las costumbres, como cerrar el grifo entre los distintos procedimientos de lavado, son medidas que no significan una pérdida de comodidad.

Como agua potable en realidad sólo se necesitan 3 a 5 litros al día por persona (Gleick, 1996). Para el resto se pudiera usar agua de menor calidad.

Existen muchas posibilidades de ahorrar agua potable, de las cuales algunas se refieren sólo a países industrializados y/o a la clase social alta. El potencial de ahorro de agua potable llega a un 70% del presente consumo, en el sector privado de la vivienda en los países desarrollados (Gleick *et al.*, 2003). Las medidas son:

- No desperdiciar agua por mantenimiento insuficiente de las instalaciones.
- No desperdiciar agua por el uso indiscriminado.
- Usar la ducha en vez de tomar un baño en la tina.
- Llenar totalmente las lavadoras de ropa y de vajilla.
- Lavar el auto en la lavadora automática de autos.
- Instalar artefactos y equipos de bajo consumo de agua.
- Usar inodoros y urinarios sin uso de agua.
- Usar agua de lluvia y reusar aguas grises para usos que no exigen agua de alta calidad.

En general, se puede decir que el ahorro de agua potable se puede lograr por medidas técnicas incrementando la eficiencia de uso mediante nuevas tecnologías, pero lo más importante son el cambio del estilo de vida, de los valores y del comportamiento del consumidor.

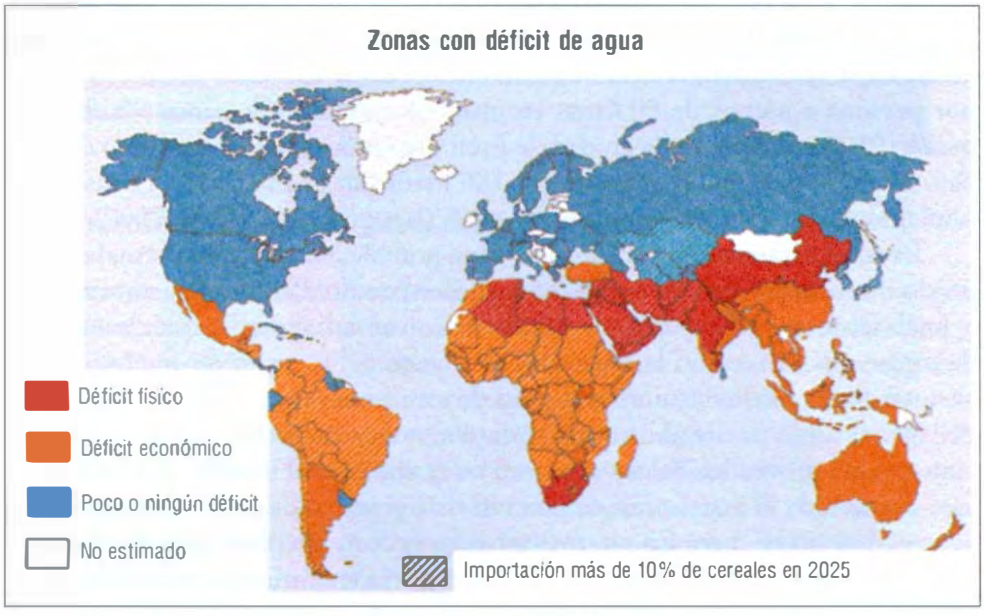
La introducción de precios que cubren los costos de los servicios de agua, incluido el tratamiento adecuado de las aguas servidas y una escala de tarifas orientada al consumo, es un incentivo para el uso racional del agua por parte del consumidor.

1. Problemas actuales de consumo y disponibilidad

El crecimiento de la población mundial, la escasez natural de agua en muchas regiones mundiales y en especial la escasez de agua limpia ya actualmente causan problemas en el suministro de agua en cantidad y calidad suficiente, especialmente en los países pobres.

Generalmente, las estrategias aplicadas para sobrellevar un déficit existente son las medidas basadas en la demanda, lo que significa la expansión de la producción de agua potable y la capacidad de las redes de distribución. Estas medidas

Figura 12
Disponibilidad de agua en la tierra



Fuente: International Water Management Institute, 2001, citado en Peter-Froehlich, 2003b.

no son sostenibles ecológicamente y, por otro lado, son sumamente costosas. Se debería optar por estrategias nuevas orientadas al manejo de recursos, es decir, basándose en conceptos de conservación de las fuentes de agua y en el ahorro de agua. (Scheele & Malz, 2007b).

Generalmente, *una sola calidad de agua* se suministra para uso doméstico e industrial. Como la calidad se orienta en la calidad máxima necesaria, se suministra sólo agua potable, aunque no se necesita esa calidad para todos los usos (Deubner & Schuller, 1992b).

A esto se suma el consumo incontrolado del recurso por inconciencia de la población. El comportamiento del usuario generalmente todavía no toma en cuenta el ahorro de agua. Se pierde mucha agua por agujeros en los tubos de suministro, por artefactos mal cerrados y por depósitos de inodoros con cierre inadecuado o defecto. Puntos de pérdida en la red pueden causar grandes pérdidas de agua durante su distribución. Un pequeño hueco de 2 mm de diámetro con una presión de 5 bares causa una pérdida de agua de 1.550 m^3 al año (Deubner & Schuller, 1992 b). Diez gotas de agua por minuto cayendo de un grifo de agua mal cerrado son suficientes para perder 12 litros al día, 80 litros a la semana ó 4.000 litros de agua al año. Si no se cierra totalmente la entrada de agua al inodoro, esto significa una pérdida de 720 litros de agua al día (Deubner & Schuller, 1992b). El agua potable además se usa en la limpieza de las calles y para otros usos no necesarios.

Estas pérdidas se observan más en países pobres que en países industrializados, donde los precios del agua son tan altos que los usuarios tienen interés en ahorrar agua potable. La gran influencia de las tarifas se pudo demostrar en varias ocasiones: después de la reunificación de las dos Alemanias, el consumo en los departamentos del Este ha bajado de aproximadamente 400 litros diarios por persona a menos de 80 litros en promedio, durante los años 90 del siglo pasado (BMBF, 2001). En la ciudad de Freiburg (Alemania), el consumo de agua bajó de 348 litros (en el año 1899) a 186 litros (en el año 1913) a causa de la implementación de medidores de consumo (Lange & Otterpohl, 2000).

La minimización del consumo de agua potable, en el sistema actual centralizado, no siempre resulta en costos menores por unidad de agua suministrada y finalmente en precios menores para el consumidor. Eso depende también de otras variables, como la capacidad y el costo de las redes de agua potable y alcantarillado. Si el consumo baja antes de un aumento previsto en la capacidad de las redes, eso puede ahorrar un monto significante en los costos de ampliación, para el proveedor del servicio y en las tarifas para el usuario. Si el consumo baja después de la instalación de una red más grande, los costos por unidad de agua casi se mantienen. En ciertos casos, las redes y las plantas de purificación pueden entrar en dificultades si el agua transportada disminuye debajo de cierto mínimo. Resulta problemático para la empresa del servicio de agua y, por otro lado, puede causar taponamiento en la red por la concentración de las aguas servidas, malos olores escapando de los sumideros y estancamiento en las redes de distribución de agua potable con riesgo de desarrollo de microorganismos en la tubería. La influencia sobre los costos se demuestra bien por un ejemplo de Alemania del Este, donde el consumo de agua bajó drásticamente después de la reunificación, a causa de la implementación de tarifas más altas. Como la red se había agrandado y modernizado en base al consumo anterior, esto significó para el usuario otro aumento de precio por unidad de agua. En uno de los casos, adicionalmente era necesaria la reducción del diámetro de los tubos de la red, lo que significó un costo adicional. (BMBF, 2001).

Es una diferencia grande, si los costos de un sistema se definen desde el punto de vista del usuario, del proveedor o de la economía nacional. El usuario sólo tomará en cuenta las tarifas. El proveedor tiene que evaluar si las capacidades del sistema son suficientes y tiene que calcular sus diferencias de costo para distintas capacidades. Para la economía nacional, se tiene que hacer un cálculo a largo plazo, tomando en cuenta adicionalmente los costos ambientales. (BMBF, 2001).

Este análisis subraya la gran responsabilidad de las entidades públicas y las empresas de agua en la formulación de políticas de ahorro de agua, la planificación de las capacidades de la red, la implementación de precios reales e incentivos para el ahorro de agua.

La tecnología moderna de ahorro de agua por artefactos especiales y equipos lavadores de bajo consumo de agua es escasa y poco conocida en países en

desarrollo, mientras que tiene ya un mercado significante en los países industrializados.

En el futuro, agua potable tiene que ser usada en menor cantidad y reemplazada por otras fuentes de agua dependiendo de las posibilidades.

Todas las medidas descritas en adelante se pueden implementar en la vivienda individual, en edificios privados y públicos.

2. Opciones para el ahorro directo de agua

Si se usaran consecuentemente técnicas domésticas de bajo consumo de agua, actualmente el consumo diario de 130 litros por día y persona en Alemania se podría bajar todavía aproximadamente a un tercio. Los logros actuales en el ahorro de agua por artefactos y equipos de bajo consumo en Alemania se observan en la reducción del consumo promedio diario de 148 litros en el año 1990 a 128 litros en el año 2000. Actualmente, el consumo se reduce todavía anualmente por la implementación de nuevos artefactos y equipos para el ahorro de agua. Se espera llegar a un consumo mínimo de 90 litros diarios de agua por persona. (Umweltbundesamt, 2001).

Este ejemplo de un país industrial muestra las enormes posibilidades en el ahorro directo de agua en la vivienda, basado en la conciencia del usuario y en la tecnología moderna, que permite la disminución significante del uso de agua a un costo razonable. Según estudios en países industrializados, el tiempo de amortiguación de las inversiones varía entre meses para los artefactos de reducción de flujo en los grifos y duchas, hasta tres años para inodoros de bajo consumo de agua. Las medidas técnicas permiten reducir el consumo casi independientemente del comportamiento del usuario (Lange & Otterpohl, 2000).

La cantidad de agua que pasa por cualquier artefacto depende de la diferencia de presión entre la tubería y la atmósfera, y esta relación a su vez depende de la presión de suministro (por ejemplo 4 bares), la pérdida de presión por diferencias de altura (la presión disminuye por 1 bar cada 10 m de altura) y las pérdidas dentro del sistema de tuberías de la propia vivienda, del medidor y por las características del artefacto. Un artefacto de bajo consumo tiene la característica de que la cantidad de flujo por unidad de tiempo casi no sube a mayor presión, si se compara con artefactos convencionales. El efecto se basa en la adición de aire mezclada al agua. (Lange & Otterpohl, 2000).

Con la instalación de los aireadores en las cabezas de duchas y los grifos de agua, ya se logra un ahorro significante. Estos artefactos acoplados a los grifos reemplazan agua por aire y minimizan el flujo de agua a 6 litros por minuto de forma constante, lo que significa un ahorro entre 40 y 50% de agua. Reguladores de flujo adicionales limitan el flujo de agua entre 2 y 6 litros de agua por minuto. En cabezas de ducha se puede bajar el flujo de 14 litros por minuto a 8

litros por minuto. Los mezcladores termostáticos de una mano además permiten que el agua salga directamente con la temperatura deseada y evitan la pérdida de agua durante el tiempo de regulación manual de la temperatura. Todas esas medidas adicionalmente ahorran grandes cantidades de energía durante el uso de agua caliente. Para lugares públicos como piscinas, campos deportivos, hoteles u otros, han dado buen resultado los grifos y duchas con regulación automática del tiempo de apertura o sensores sensibles en los grifos. Así se puede minimizar el tiempo de apertura de los grifos. (Umweltbundesamt, 2001).

Figura 13
Reguladores de flujo

Figura 13 a: Perlador con regulador de flujo con rosca interior. Figura 13 b. Perlador con regulador de flujo con rosca exterior. Figura 13 c: Regulador de flujo sin aspiración de aire para hospitales.
Fuente: publicidad de Mannesmann.

Modelos antiguos de *máquinas lavadoras de ropa* usan hasta 250 litros de agua por lavado. Las máquinas de bajo consumo todavía necesitan entre 50 y 100 litros de agua. Para garantizar la eliminación de los detergentes se recomienda un mínimo de 50 a 60 litros de agua por lavado en las máquinas lavadoras de ropa. (Umweltbundesamt, 2001).

Antes, una *máquina lavavajillas* necesitaba 60 litros para un lavado. Los modelos modernos sólo usan 14 a 18 litros, la misma cantidad que se necesita para el lavado a mano. (Umweltbundesamt, 2001).

Con todos los equipos y artefactos de bajo consumo de agua, se *ahorra* adicionalmente una cantidad significante de *energía* para el calentamiento de agua, en duchas, lavamanos y máquinas lavadoras. Así que se puede lograr un ahorro sustancial en los costos de agua y energía. (Umweltbundesamt, 2001).

Los *inodoros* generalmente usan entre 9 y 10 litros de agua por barrido. Actualmente, se ofrecen inodoros con volumen reducido de 6 litros, instalaciones con posibilidad de interrumpir el flujo e inodoros con dos depósitos de diferente volumen (3 litros para orina y 6 litros para heces) (Umweltbundesamt, 2001). Los inodoros más económicos respecto al uso de agua se encuentran en Suecia, que es uno de los países con mayor abundancia de agua disponible en Europa. (Lange & Otterpohl, 2000).

En Japón se suele usar los inodoros suecos, integrando además un sistema de lavamanos, sin uso de jabón, que directamente abastece el tanque de almacenamiento del inodoro. De esta manera se ahorra aproximadamente 5 litros de agua en cada uso del inodoro, que provienen del lavado de manos. (Lange & Otterpohl, 2000).

Figura 14
Dos modelos de inodoros japoneses

Fuente: <www.oasisdesign.net/greywater/indoorreuse.htm>.

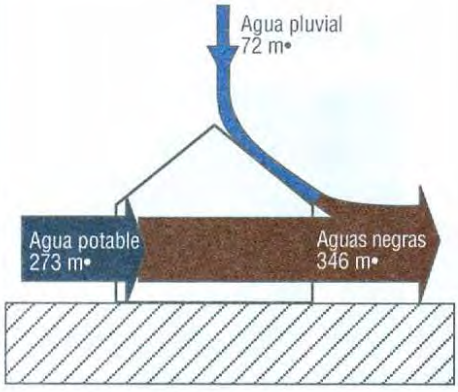
3. Uso de otras fuentes de agua

Sólo se necesita agua potable de alta calidad para aproximadamente 10% del consumo particular en la vivienda, si se incluye no sólo el agua de consumo directo, sino también el agua necesaria para el lavado de vajilla. Sin reducción en calidad y comodidad se puede ahorrar alrededor de 50% de agua por usos dobles, por ejemplo, el uso de agua de la ducha para el lavado de ropa y después para el inodoro. La inversión necesaria para filtros gruesos, bombas y depósitos de amortiguación es mínima. Instalaciones secundarias en casas existentes son posibles (Krusche *et al.*, 1982).

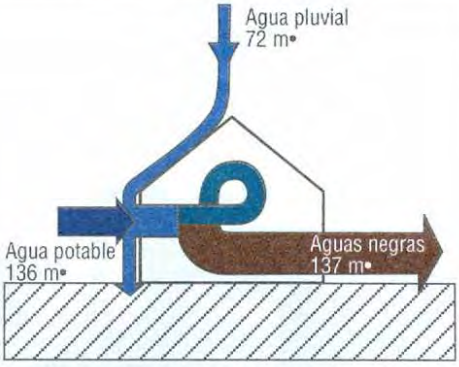
Se pueden aplicar varios modelos, según las posibilidades y necesidades individuales. Los modelos de la figura 15 se refieren a una familia de cinco personas.

Figura 15
Doce modelos de manejo de agua en el hogar

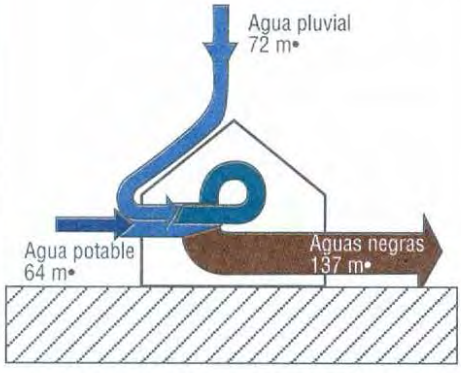
Modelos 1 - 4: sistema convencional y sistemas con ahorro directo de agua



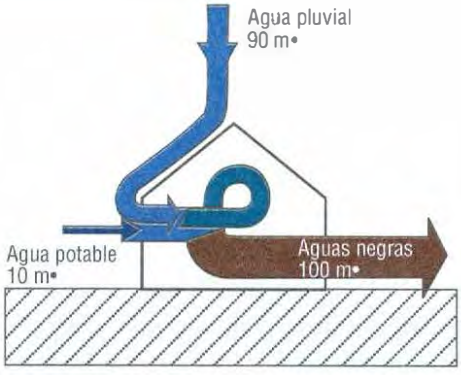
Modelo 1: situación actual
Consumo alto de agua. Sin uso de aguas pluviales. Las aguas servidas se vierten a un sistema mixto de alcantarillado. Cantidad enorme de aguas servidas, sólo para el inodoro aproximadamente 80 m³/año.



Modelo 2:
Sistema de alcantarillado separado para aguas pluviales. Infiltración local o vertido a un cuerpo receptor de las aguas pluviales. Sistema de uso doble interno en la casa (inversión mínima), el agua de lavado y de ducha se usan para el inodoro. Reducción de cantidad en agua potable y en aguas servidas a 136 m³/año. Instalación secundaria siempre posible. ¡Ganancias económicas y ecológicas significantes!

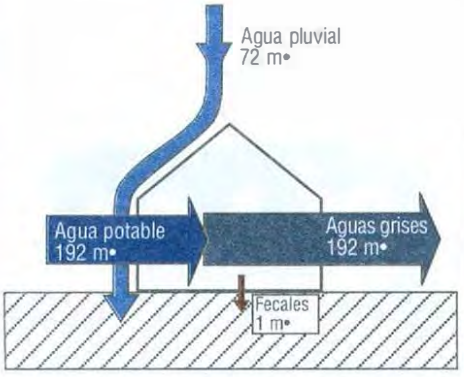


Modelo 3:
Uso de las aguas pluviales para el lavado y la ducha, otras características como en el modelo 2. Se necesitan depósitos adicionales de almacenamiento para las aguas pluviales y filtros simples. Se tiene mayor calidad de agua para la higiene corporal y para el lavado de ropa, se necesita menos detergente (el agua de lluvia es muy blanda).

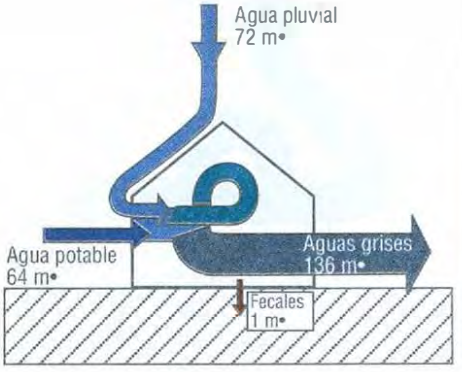


Modelo 4:
Semejante al modelo 3, pero se reduce el uso de agua potable a la cantidad necesaria. El déficit se compensa por una superficie mayor de recolección de agua pluvial con los almacenes correspondientes, por medidas de ahorro de agua o por ambos. Medidas de ahorro: reducción de la cantidad de agua usada en el inodoro a 5 litros por vez = 40 m³/año. Si se reduce el consumo de agua a 80 litros/persona y día (no significa pérdidas de comodidad y de higiene), 68 m² de superficie de recolección de agua de lluvia son suficientes para una familia de cinco personas.

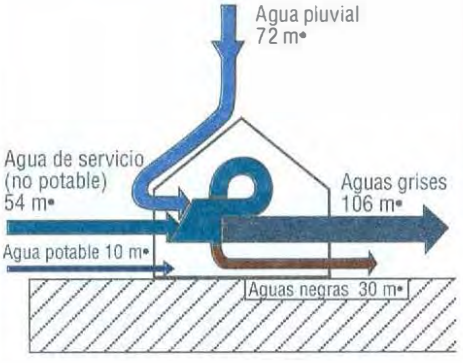
Modelos 5 - 8: aprovisionamiento centralizado del agua potable, evacuación y purificación centralizada de las aguas servidas. Uso descentralizado de heces



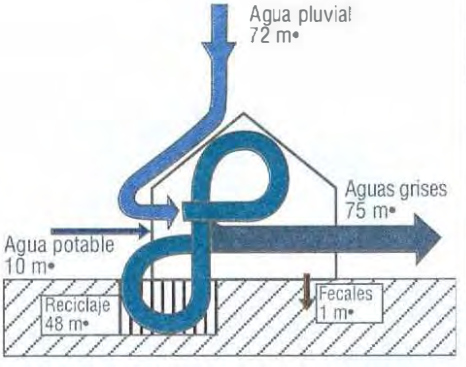
Modelo 5:
El agua de lluvia se devuelve de forma local (uso para jardín y laguna). Uso de 192 m³ anuales de agua potable y generación de aguas servidas poco contaminadas (uso secundario posible).



Modelo 6:
Semejante al modelo 3, sólo que no se vierten heces al agua servida, por eso las posibilidades de purificación de las aguas servidas se mejoran significativamente.

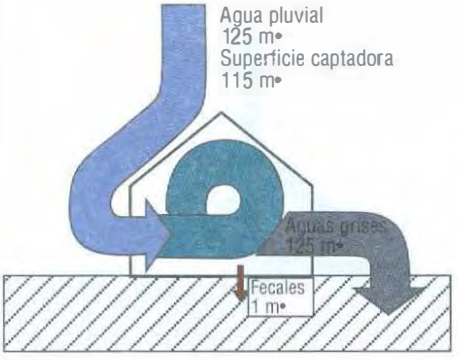


Modelo 7:
Redes separadas de agua potable y agua cruda de servicio, o agua pluvial; uso doble del agua y red de alcantarillado separada para aguas servidas poco contaminadas y aguas fecales concentradas (inodoro con ahorro de agua) para el sistema de biogás compartido con otras casas.

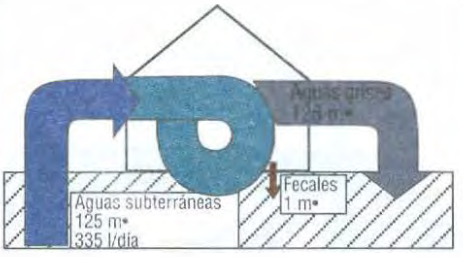


Modelo 8:
Semejante al modelo 4, sólo que las aguas servidas no contienen heces, así se puede lograr el uso triple del agua, por reciclaje y un sistema de filtros. El caudal es variable según las necesidades; si se economiza el uso, se necesitan mínimas inversiones. Sólo se necesitan inversiones públicas mínimas. Las aguas servidas se pueden devolver de forma ecológica.

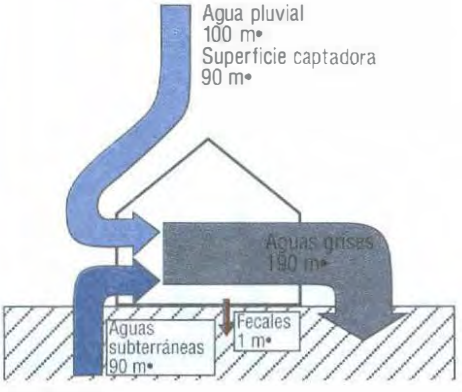
Modelos 9 - 12: sistemas descentralizados de autoprovisionamiento, uso propio de heces y aguas servidas. Estos conceptos se deberían implementar a largo plazo a nivel de urbanizaciones y barrios



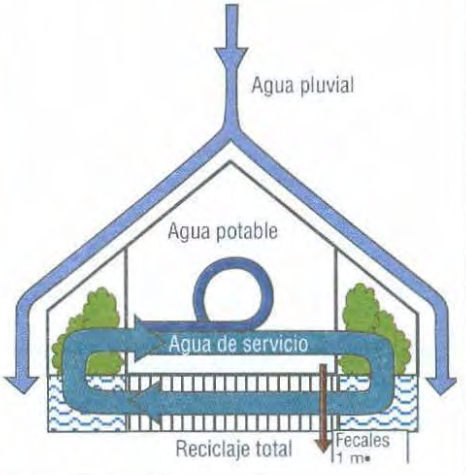
Modelo 9:
Suministro total por agua de lluvia, con un tercio de uso doble.
Dependiendo de la calidad del agua requerida, se necesita un sistema simple o sofisticado de purificación.



Modelo 10:
Suministro total por agua subterránea, con un tercio de uso doble.
Dependiendo de la calidad del agua requerida, se necesita un sistema simple o sofisticado de purificación.



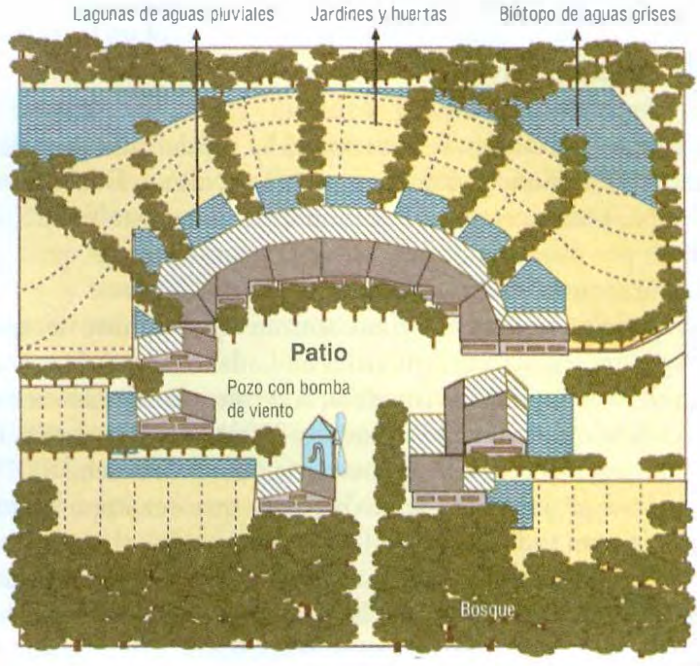
Modelo 11:
Suministro total de agua subterránea y agua pluvial (con uso doble y/o ahorro de agua; el consumo puede reducirse a un tercio). Se trata de un sistema con abastecimiento autónomo total y vertido de las aguas servidas de forma local. La explotación local del agua está en equilibrio con la devolución.
Los porcentajes pueden variar según las necesidades. Si el agua es naturalmente de buena calidad, esta solución es la más simple y la mejor.



Modelo 12: ciclo interno cerrado
Sólo tiene sentido en zonas áridas y en caso de contaminación o epidemias.
El porcentaje de agua potable se genera por condensación. Caudal e inversión dependen de la cantidad de consumo y de la cantidad total. Tiene sentido generalmente sólo en combinación con el modelo 11.

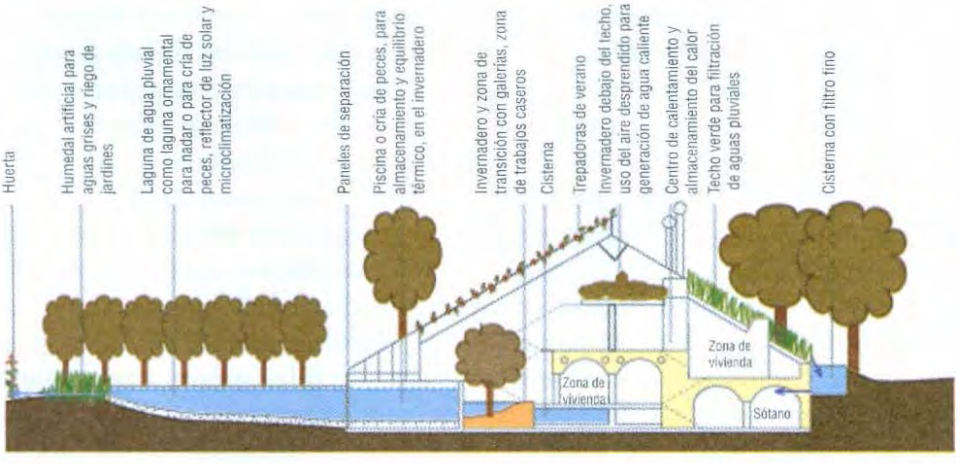
Dibujos basados en Krusche *et al.*, 1982

Figura 16
Urbanización ecológica con sistemas descentralizados de agua



La tierra excavada se utilizó para la modelación del terreno, adaptada a las condiciones locales de agua y clima. Las terrazas del jardín y las lagunas de peces para la purificación de las aguas grises se encuentran en los lugares más hondos. Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

Figura 17
Corte por una casa autosostenible con uso interno y externo del agua



Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

Algunas ciudades en varios países, por ejemplo en el Japón, incluyeron una red municipal de agua cruda de servicio, aparte de la red de agua potable de alta calidad, para disminuir los costos de potabilización.

3.1. Uso de agua de lluvia

Desde hace más de 3.000 años, la humanidad ha recolectado agua de lluvia para la vivienda, la cría de animales domésticos y la agricultura. Durante el desarrollo de la civilización, con su creciente consumo de agua, esta fuente se sustituyó paulatinamente por sistemas centralizados de suministro de agua potable, sin tomar en cuenta la problemática ambiental. (Salas, 2003).

Entre las tecnologías antiguas se encuentran algunas inusuales como la cosecha de agua a partir de glaciares artificiales en Ladakh (India), la cosecha de agua de los árboles en Miyake, una isla japonesa, la recolección de nieve en Afganistán, y de neblina en Chile y otros países (Koenig, 2003b). Cisternas eran la base para el desarrollo de muchos centros urbanos antiguos (Fahlbusch, 2007).

Sólo actualmente, las aguas de lluvia ganan otra vez importancia como un recurso accesible para todos.

El uso de agua pluvial ha ganado un éxito remarcable especialmente en Alemania (BMBF, 2001; Boelhouwer, 2001), donde se aplica desde hace más de veinte años. Se instalan aproximadamente 60.000 a 70.000 sistemas anualmente (Boelhouwer, 2001). Las técnicas desarrolladas en Alemania son las mejores a escala internacional. También en algunos otros países europeos el uso de aguas pluviales entra de manera más acentuada a las reglamentaciones y a la implementación práctica en los últimos años. En Inglaterra, el Millenium Dome, en Londres, es el proyecto modelo donde las aguas pluviales, las aguas grises de los lavamanos y las aguas subterráneas contaminadas con pasivos ambientales se purifican para su uso mediante ósmosis inversa, lo que se complementa con tratamiento en un humedal artificial (Koenig, 2003b).

Actualmente, varios países asiáticos comenzaron con el manejo de las aguas pluviales, en primer lugar Japón y Corea. Los japoneses han auspiciado varios eventos internacionales en estos temas: Kobe 1999 "Efficient Water Use in Urban Areas" y Kyoto 2003 "World Water Forum". En Japón tradicionalmente tiene importancia el uso de aguas pluviales para evitar escasez de agua en caso de catástrofes, como los sismos frecuentes en esta región. Durante el Congreso Internacional "Global Cities 21" en julio de 2000, en Dessau, Alemania, la ciudad japonesa de Sumida, perteneciente al área metropolitana de Tokio, ganó el primer premio por su esfuerzo en el intercambio internacional para el uso de las aguas pluviales. En Sumida, el primer museo de aguas de lluvia a nivel internacional abrió sus puertas en 2001. En el edificio del gobierno municipal de Sumida se usan las aguas pluviales para los inodoros y el lavado del parque automotor de la municipalidad. (Koenig, 2003b).

Japón y Corea tienen grandes problemas con el escurrimiento de las aguas pluviales por sus extensas zonas densamente pobladas con sellado extenso de los suelos. Las precipitaciones anuales son relativamente altas y distribuidas de forma desigual. Además tienen grandes requerimientos de agua potable en sus megaciudades, que llevan a una escasez relativa de agua. La nueva Ley de Balance de Aguas de Corea, de marzo de 2001, establece el uso de las aguas pluviales en proyectos grandes y simultáneamente el desarrollo de la tecnología y estudios científicos. Así, poco antes de los mundiales de fútbol, el Gobierno de Corea decidió que los estadios nuevos instalen un sistema de retención de aguas pluviales. Actualmente, Sangam-City realiza un proyecto modelo de reciclaje de agua, integrando la retención del escurrimiento, la infiltración y el uso de las aguas pluviales. El objetivo es cambiar el comportamiento y la conciencia de la población. Por eso, el uso de las aguas pluviales no es opción, sino obligación, basándose en la nueva ley. (Koenig, 2003b).

En la India, el ministerio encargado del suministro de agua promueve el uso de las aguas pluviales. En este país se pueden recuperar conocimientos antiguos para la cosecha de las aguas de lluvia, de lo que se encarga el CSE (Center for Science and Environment) en Nueva Delhi (Koenig, 2003b). Aunque la distribución estacional de las lluvias es marcada en este subcontinente por las épocas de monzón, el uso de aguas pluviales era común en tiempos antiguos y se rehabilita con éxito. Eso muestra que se pueden aliviar, aun épocas largas de sequía, con la recolección de la lluvia.

El uso de agua de lluvia disminuye el consumo de agua potable de la red. El agua pluvial se puede usar para el inodoro, la lavadora, para el riego de los jardines y otros usos que requieren agua de menor calidad, y –con un tratamiento adecuado– también como agua potable.

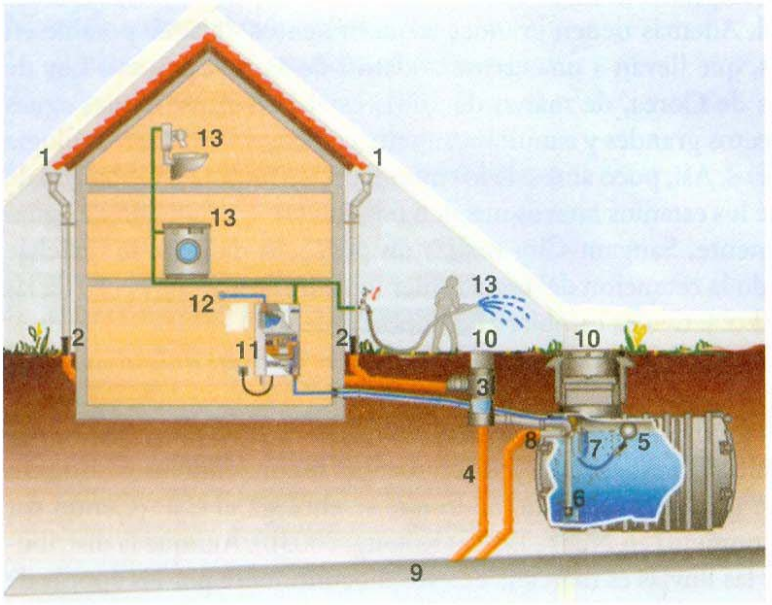
El almacenamiento se puede realizar en barriles, cisternas, lagunas conectadas por acequias o mediante jardines, humedales u otros, según los fines de uso.

De este modo se ofrecen múltiples posibilidades de diseño:

- Depósito permanente de agua cruda, con posibilidades para el riego de jardines y para la infiltración a las napas freáticas.
- Reserva para periodos de sequía y para extinción de fuegos.
- Biótopo para peces, aves acuáticas y otros animales acuáticos, plantas acuáticas y semiacuáticas para uso y ornamentación.
- Elemento para actividades de recreación (Krusche *et al.*, 1982).

El depósito tiene que ser de tamaño adecuado para cubrir el consumo de agua pluvial durante un mes, en Europa central (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000), en países con marcadas épocas de sequía, tiene que cubrir el consumo por varios meses.

Figura 18
Recolección de aguas pluviales para su uso en la vivienda



Leyenda:
1 Recolección de las aguas pluviales del techo.
2 Apertura de limpieza.
3 Filtro de sólidos.
4 Entrada de agua contaminada con sólidos al alcantarillado.
5 Tubería flotante de toma.
6 Entrada calmada de agua a la cisterna.
7 Sifón de rebalse.
8 Rebalse hacia alcantarillado.
9 Tubo de alcantarillado.
10 Aperturas de inspección.
11 Sistema de control y bombeo.
12 Entrada eventual de agua potable, con salida libre sin contacto con el agua pluvial.
13 Puntos de uso del agua potable.

Fuente: publicidad de ARIS.

El agua pluvial, por ser agua condensada, contiene muy pocas sales minerales y cal, por esto es una excelente agua de lavado que necesita poco detergente, lo que adicionalmente disminuye la carga de contaminantes en las aguas servidas.

Por otro lado, el agua de lluvia absorbe la contaminación del aire (polvos, gases), así que antes de su uso se necesitan filtros (filtros simples de flujo continuo) y/o neutralización. La primera lluvia después de días de sequía contiene la mayoría de contaminantes, por el lavado de las superficies de recolección. Por eso se recomendaba no usarla, sino evacuarla. En los países asiáticos todavía se descarta la primera agua pluvial contaminada, para poder usar el agua de lluvia en casos de emergencia como agua potable. En los países europeos se opta por no efectuar ninguna separación porque los filtros usados en el pretratamiento son suficientemente poderosos y, por otro lado, el empleo de esta agua se restringe estrictamente a usos de servicio.

Lo más importante para el uso de las aguas pluviales en la casa es la separación estricta de agua potable y agua de servicio en una red sanitaria doble, y la señalización de los grifos para evitar equivocaciones. El uso de aguas pluviales en la casa generalmente es de alto costo por sus requerimientos de tratamiento y por la red doble de suministro, mientras que como agua de riego para los jardines no tiene restricciones. Los sistemas de reciclaje de aguas pluviales en la vivienda necesitan limpieza y mantenimiento regular,

lo que significa inversiones en tiempo y costos. (Emschergenossenschaft & Lippeverband, [s/f]).

Existen varios ejemplos de casas, urbanizaciones e industrias que usan agua pluvial como agua de servicio, como el aeropuerto en Francfort, muchos hoteles, y las grandes industrias de automóviles como Volkswagen y BMW. Algunos ejemplos se describen entre los estudios de caso en el capítulo VIII.

Según Bullermann *et al.* (2001), en una urbanización alemana (Kassel-Hasenhecke) con casas de tres pisos, sólo por el uso de agua pluvial en los inodoros se ha ahorrado en promedio 15,5 litros de agua potable por persona y día; lo que se logra con un tiempo de mantenimiento del sistema de sólo 10 horas anuales.

Existen algunos nuevos desarrollos en el uso de las aguas pluviales, por ejemplo el uso de aguas pluviales en zonas densamente edificadas, donde normalmente no se colecta suficiente agua de los techos para el suministro a las viviendas de agua de servicio (ver estudio de caso de Berlin-Lankwitz, capítulo 8). En este caso se debe recolectar también las aguas de escurrimiento, más contaminadas, de los patios y las carreteras. Esta agua se usa principalmente para los inodoros y para el riego de las áreas verdes. De esta manera no sólo se puede desconectar los terrenos de escurrimiento superficial de la red de alcantarillado, sino también ahorrar la infiltración de las aguas pluviales, que requeriría una superficie relativamente grande.

Otro uso nuevo es la generación de agua potable a partir de aguas pluviales, especialmente para zonas áridas, para zonas donde la calidad del agua potable no es óptima o para evitar el costo alto de una conexión a la red de agua potable (Nolde, 2002).

En los países en desarrollo, la cosecha de aguas de lluvia se promueve principalmente para abastecer los requerimientos de agua de riego en los terrenos agrícolas. Se recopila y mejora las técnicas antiguas existentes en la construcción de estructuras para recolección y almacenamiento de aguas pluviales, para su uso durante las sequías (ver estudio de caso de la India, capítulo VIII, subtítulo 2.1.1). En estos casos, la retención de las aguas de escurrimiento también ayuda a disminuir la erosión de los suelos.

3.2. Reciclaje de aguas grises

Mediante el uso de aguas grises o de aguas pluviales como agua de servicio se puede reducir significativamente los costos de potabilización del agua y del tratamiento de las aguas servidas, la cantidad de sustancias químicas usadas para estos efectos, el dimensionamiento de los tubos de suministro de agua y de desagüe, y la cantidad de lodos formados durante los procesos de purificación (Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, 2003).

Los argumentos para la reutilización de las aguas grises son semejantes al uso de las aguas pluviales:

– Protección de los recursos de agua potable.

- Disminución de los costos del agua potable y de recolección, y tratamiento de las aguas servidas para el usuario.
- Reducción de la cantidad de aguas servidas y protección de las aguas superficiales.

En la bibliografía existen dos definiciones del término "aguas grises":

1. Aguas grises son libres de excrementos fecales.
2. Aguas grises no contienen ni excrementos fecales ni desagües de cocina.

La segunda definición tiene ventajas cuando se habla del reuso como agua de servicio, porque en este caso se debería excluir las aguas de cocina altamente contaminadas con detergentes, aceites, grasas y restos de comida.

Generalmente, las aguas grises se reusan en los inodoros y para el riego del jardín. Pero aplicaciones más específicas como para máquinas lavadoras están en discusión (Nolde, 2002).

Cada sistema de uso de aguas pluviales y reciclaje de aguas grises demanda un sistema sanitario de doble tubería para evitar la mezcla del agua potable con esta agua de servicio de menor calidad.

El tratamiento de las aguas grises depende de su composición y del tiempo de su almacenamiento. Durante su estancamiento, la materia orgánica presente en el agua comienza a fermentar y desprender malos olores, además pueden desarrollarse microorganismos patógenos en el tanque de almacenamiento. Por este motivo, las aguas grises almacenadas necesitan un tratamiento riguroso para evitar estos problemas. No se recomienda incluir las aguas de cocina en este proceso.

El agua gris tratada contiene menos nutrientes que los efluentes de las plantas comunales de purificación, así que es apta para su infiltración en caso de excedentes (Nolde, 2002).

El desarrollo técnico de sistemas de reciclaje de aguas grises y uso de aguas pluviales está en su auge. Cuando los usuarios no tienen que temer la pérdida de comodidad, aceptan la nueva tecnología ecológica sin problemas. Si el usuario además tiene la posibilidad de ahorrar cantidades significantes en las tarifas de agua potable y agua servida, estas técnicas tienen buenas oportunidades de implementación masiva. Con las medidas de ahorro de agua y el uso del calor de las aguas grises, por ejemplo, por un intercambiador de calor, se puede sustituir también parte de las necesidades caloríficas de una casa. (Nolde, 2002).

Un sistema sofisticado de reciclaje de aguas grises para su reuso en la casa contiene los siguientes elementos (en base a Scheer & Kimmich, 1999; Nolde, 1999):

1. Sistemas diferenciados de desagüe
2. Tanque de almacenamiento
3. Rebalse hacia la canalización
4. Sistema de tratamiento:

a. Tratamiento mecánico:
   - Separación de aceites y grasas
   - Sedimentación
   - Filtración
   - Tecnología de membrana, como ósmosis inversa, ultra- y microfiltración (no se necesita después tratamiento biológico)

b. Tratamiento biológico:
   - Humedales artificiales con macrófitas
   - Lagunas de estabilización (no necesitan tratamiento mecánico)
   - Estanques con oxigenación
   - Filtros de goteo
   - Otros

5. Tanque de almacenamiento de las aguas purificadas para el servicio
6. Desinfección:
   - Cloro
   - Ozono
   - Pasteurización
   - Luz ultravioleta (*recomendado*), mínimamente 30 - 40 mJ/cm^2
7. Posibilidad de adición de agua potable, con entrada libre garantizada, sin contacto del grifo con las aguas grises
8. Red de distribución de las aguas grises separada del agua potable, con señalizaciones en cada grifo
9. Equipo de manejo automático

Si no se usan técnicas de membrana el tratamiento biológico es imperativo. En cada caso, el tratamiento se realiza sin problemas y sin adición de sustancias químicas. Se ha comprobado que no se desarrollan microorganismos patógenos después de la desinfección con luz UV. El estanque de almacenamiento debe ubicarse en un lugar frío y no debe tener entrada de luz. (Nolde, 1999).

También se pueden usar humedales artificiales para la purificación de aguas grises. Sus ventajas en comparación con sistemas netamente técnicos no están en sus costos de inversión, sino en que sus costos de operación y mantenimiento son mucho menores (Bahlo, 1999).

Los riesgos de una contaminación con microorganismos en aguas grises son más grandes que en aguas pluviales, donde tienen su origen en los excrementos de aves y mamíferos pequeños. Las aguas grises pueden contener partes de la flora de la piel y las mucosas como *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*; y bacterias patógenas del intestino como salmonelas, cepas patógenas de *Escherichia coli* y virus intestinales. (Bullermann *et al.*, 2001).

Las aguas pluviales tienen una Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) mínima, debajo de los 6 mg/l y no se fermentan, por lo que no se pueden desarrollar los microorganismos intestinales en ellas. Por eso se puede usar *Escherichia coli*

como indicador de una contaminación fecal, igual que en el análisis del agua potable. Las aguas grises contienen materia orgánica y se descomponen durante el almacenamiento. Además tienen temperaturas elevadas que favorecen la fermentación y el crecimiento de microorganismos patógenos. Por este motivo, el tratamiento de las aguas grises para su uso como agua de servicio es más complejo y más costoso. (Bullermann *et al.*, 2001).

Tabla 3
Criterios de calidad para las aguas grises purificadas

Objetivos de calidad	Criterios de evaluación / justificación
Buena calidad higiénica y microbiológica	Coliformes totales < 100/ml Coliformes fecales < 10/ml *Pseudomonas aeruginosa* < 1/ml
Demanda biológica de oxígeno (DBO5) mínima	< 5 mg/l
Agua transparente y sin color	Transmisión de UV mínimo 60% para permitir la desinfección con UV Para el conforte del usuario
Agua rica en oxígeno	> 50% saturación de oxígeno: Para garantizar el almacenamiento del agua
Casi sin suspensiones Casi sin olores No se fermenta durante cinco días	Para el funcionamiento de los artefactos sanitarios Para la comodidad del usuario

Fuentes: Scheer & Kimmich, 1999; Nolde, 1999.

Tabla 4
Requerimientos higiénicos para aguas de servicio, aguas crudas para la generación de agua potable y aguas de recreación

Parámetros	Reglamentos de la Unión Europea para aguas de recreación	Reglamentos de la Unión Europea para aguas superficiales crudas usadas en generación de agua potable	Agua de servicio (reglamento de Berlín, Alemania para aguas de servicio)
Coliformes totales	G: 5/ml I: 100/ml	G: 500/ml	< 100/ml
Coliformes fecales	G: 1/ml I: 20/ml	G: 200/ml	< 10/ml
Estreptococos fecales	G: (1/ml)	G: 100/ml	< 10/ml
Salmonella sp.	(0/1.000 ml)		< 1/100 ml
Pseudomonas aeruginosa			< 100/100 ml
Legionella sp.			< 10/100 ml
Staphylococcus aureus			< 100/100 ml
Candida albicans			< 1.000/100ml
Virus intestinales	I: (0/10 l)		No se supervisa regularmente

G: Valor guía
I: Valor imperativo
( ) Sólo se supervisa en caso de sospecha o si la calidad del agua se empeora
Fuente: Nolde, 1999.

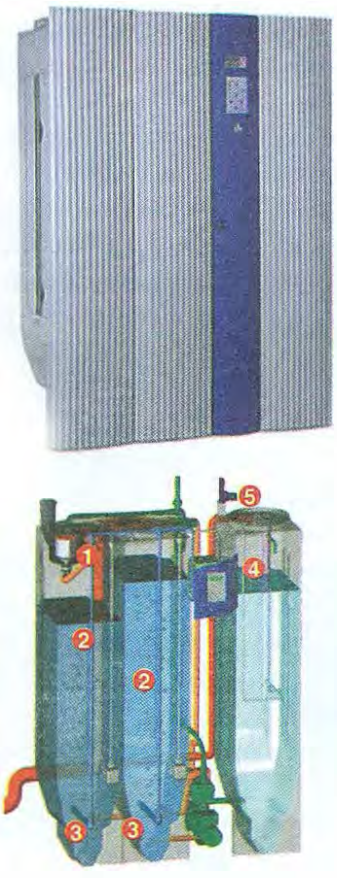
La EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos) en su guía para el reuso de agua de 1992 establece lo siguiente:

Si se reusa el agua para los inodoros, se requiere un tratamiento biológico hasta obtener valores máximos de 30 mg DBO5/l, filtración y desinfección del agua. Después del tratamiento y en la entrada a la red de consumo, debe contener menos de 10mg DBO5/l, menos de 1 coliforme fecal/100 ml y menos de 1 mg/l de Cl_2 (EPA, 1992a).

Las técnicas de reciclaje de aguas grises han avanzado significativamente en los últimos diez años. Los sistemas modernos purifican el agua mecánica y biológicamente, sin adición de sustancias químicas, son completamente automáticos y no necesitan mantenimiento. Logran una calidad de agua que excede los límites establecidos para aguas de recreación y natación de la Unión Europea. Los filtros en la entrada del sistema se lavan automáticamente con agua limpia.

Figura 19

Sistema moderno de reciclaje de aguas grises a nivel doméstico (AquaCycle)



Esquema de funcionamiento:

1. **Prefiltración**: Residuos particulados como flóculos de textiles, cabellos y otros se retienen sobre el filtro y se lavan automáticamente hacia la red de alcantarillado.
2. **Doble tratamiento biológico:** Cultivos de microorganismos descomponen los contenidos orgánicos del agua en la primera y segunda cámara. El agua se bombea hacia el tanque próximo a intervalos de tres horas.
3. **Evacuación de sedimentos:** Durante el proceso de purificación biológica se forman lodos orgánicos que se evacuan regularmente hacia la red de alcantarillado.
4. **Higienización:** Antes de entrar al tanque de almacenamiento el agua pasa por una lámpara de luz ultravioleta y se higieniza.
5. **Adición de agua potable:** Si el agua en el tanque de almacenamiento se reduce debajo de cierto nivel, automáticamente se adiciona agua potable de la red.

Foto de un sistema instalado y esquema de función. Fuente: <www.aquacycle.de>.

Los sedimentos del fondo se bombean regularmente al canal de alcantarrillado. Tienen una capacidad de hasta más de 2.000 litros de agua limpia por día, lo que satisface las necesidades de cuatro a cinco familias. Además ya no ocupan mucho espacio. (Storek, 2003).

Se ha comprobado, desde el enfoque del manejo global de las aguas, que a partir de edificios de tres pisos un sistema de reciclaje de aguas grises tiene ventajas ante un sistema de uso de aguas pluviales porque se puede cubrir un porcentaje más alto del consumo de agua en los inodoros por este tipo de aguas de servicio (Bullermann *et al.*, 2001).

Aunque los métodos para el reciclaje de las aguas grises están técnicamente desarrollados, el reuso de aguas grises todavía está en sus inicios y sólo existen pocos sistemas grandes. Actualmente, los sistemas para más de 200 personas son económicamente interesantes en Alemania. Se espera avances en la tecnología y por este motivo se recomienda incluir desde ya el sistema de tubería sanitaria doble en cada edificio nuevo y durante saneamientos generales de edificios existentes, en caso de edificaciones construidas para más de 100 habitantes. (Bullermann *et al.*, 2001).

Mundialmente, la tendencia se dirige hacia la aplicación de tecnologías simples, uso de aguas no tratadas para el riego subterráneo y uso de aguas tratadas sin desinfección en los inodoros (Mehlhardt, 1999).

Si el agua sólo es destinada al riego y fluye por gravedad directamente al jardín, sólo necesita un sistema de retención de aceites y grasas y suspensiones gruesas. En Australia se recomienda un filtro aeróbico que contiene material orgánico para la retención de los sólidos inorgánicos y orgánicos de las aguas grises, los que se descomponen aeróbicamente sobre el filtro sin desprender olores. Luego el líquido filtrado se drena por gravedad en tubos de distribución al jardín. (<www.greywater.com.au>).

Los sistemas de tratamiento y uso de aguas grises para fines de riego e infiltración se tratan en el capítulo VI.

Las costumbres y motivos de reuso de aguas grises son distintos en diferentes paises, como muestran los siguientes ejemplos recopilados de Mehlhardt (1999):

Alemania: Las aguas grises se reusan especialmente en los inodoros. Existe un buen nivel de implementación en edificios y urbanizaciones pequeñas. El sistema se instala para reducir el consumo y los costos de agua potable.

Escandinavia: El método se propaga para el ahorro de agua potable y como elemento de un manejo sostenible del agua.

Estados Unidos: Las aguas grises se usan en el riego, generalmente en el riego subterráneo, sin tratamiento previo.

Australia: Uso semejante como en los Estados Unidos. Generalmente las aguas grises se usan sin mayor tratamiento para fines de riego.

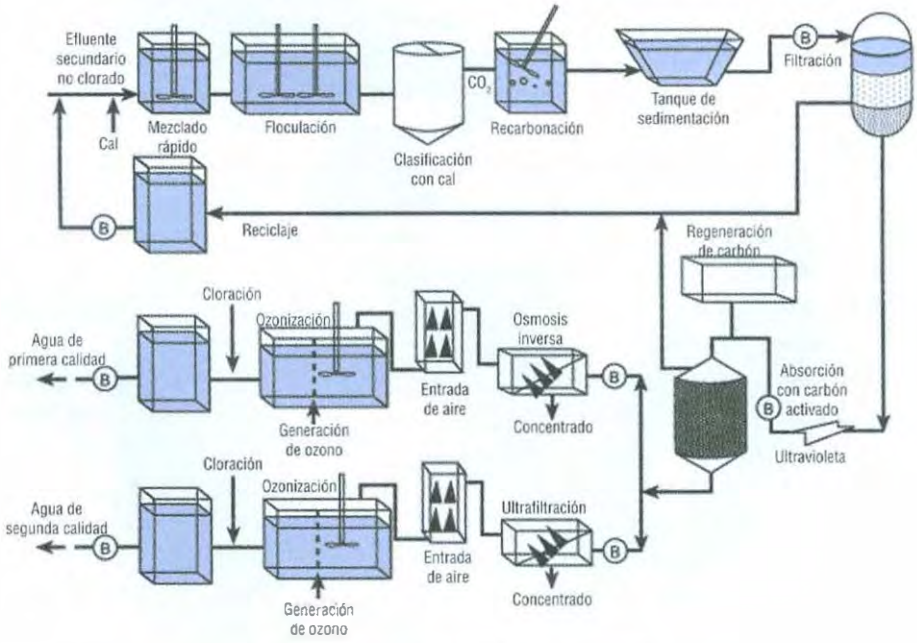
Japon: En este país se encuentran los ejemplos mejores y más grandes en

el mundo. En barrios enteros se reciclan las aguas servidas como agua de servicio. En Japón normalmente no se reciclan las aguas grises en forma local. Se redistribuyen los efluentes de las plantas de purificación, tratados para su reuso como agua de servicio en los inodoros. La casa Ohtemachi proporciona una de las facilidades más grandes para el reciclaje descentralizado del agua (ver capítulo VIII, subtítulo 1.2.4.).

Namibia (ciudad de Windhoek): Actualmente alberga el proyecto más grande del mundo de reciclaje de aguas grises, que funciona ya desde hace 25 años. El motivo es la escasez de fuentes de agua potable.

Ejemplos en Namibia y en EEUU, en regiones con escasez extrema de agua, muestran que es posible purificar las aguas grises a tal nivel que se pueden reusar como agua potable (BMBF, 2001). Técnicamente el reciclaje total es posible, pero existe mucho escepticismo por posibles agentes tóxicos y contaminantes microbiológicos tal vez no detectados.

Figura 20
Reciclaje de aguas grises como agua potable en una planta modelo en Denver



Dibujo basado en EPA 1992b, citado en BMBF, 2001.

4. Técnicas sanitarias ecológicas (ECOSAN)

La urgencia de implementar proyectos alternativos se deriva del hecho de que el sistema "inodoro con agua-red de alcantarillado-planta de purificación" se está distribuyendo en todo el mundo, sin examinar otras posibilidades. Ni el proceso político de implementación de la Agenda 21 de las Naciones Unidas incluye conceptos sanitarios sostenibles. (Otterpohl, 1999).

Ya no es correcto actuar sólo sobre nuestras "necesidades" individuales tomando en cuenta la higiene y la estética de nuestro ambiente privado en una manera que, sin pensar, carga la contaminación al medio ambiente público y la salud pública. Esta miopía socioética nos ha llevado a un consumo privado de agua de estándares estéticos altísimos para el barrido de nuestros excrementos corporales, desde supuestamente infinitos lagos prístinos. (Dieter & Schmidt, 2007).

Una solución posible para los problemas causados por los sistemas convencionales de tratamiento de aguas servidas consiste en las nuevas tecnologías sanitarias, que se conocen bajo el término "Ecological Sanitation" o ECOSAN, un concepto holístico para el manejo económico y ecológico de las aguas servidas en ciclos cerrados, concepto que ya es conocido y puesto en práctica en muchos países en el campo de los desechos sólidos. Ese concepto no consiste en la priorización de ciertas tecnologías, sino más bien es una nueva filosofía acerca de lo que se considera agua residual. (<www.gtz.de/ecosan>).

Durante el Congreso Mundial del Agua del IWA, en Marrakech 2004, se introdujo un nuevo término para este concepto, el "Saneamiento por Manejo de Recursos" (Resources Management Sanitation) (Otterpohl & Oldenburg, 2007), por el hecho de que el saneamiento ecológico recupera todos los ingredientes valiosos de los desechos.

Los sistemas sostenibles sanitarios y de manejo de aguas servidas en general, resumidos bajo el término ECOSAN, se basan en un manejo cíclico y orientado en flujos segregados, lo que se refiere a la separación de los flujos de aguas servidas distintas y su tratamiento separado, al contrario de los sistemas lineales convencionales (figuras 21 y 22).

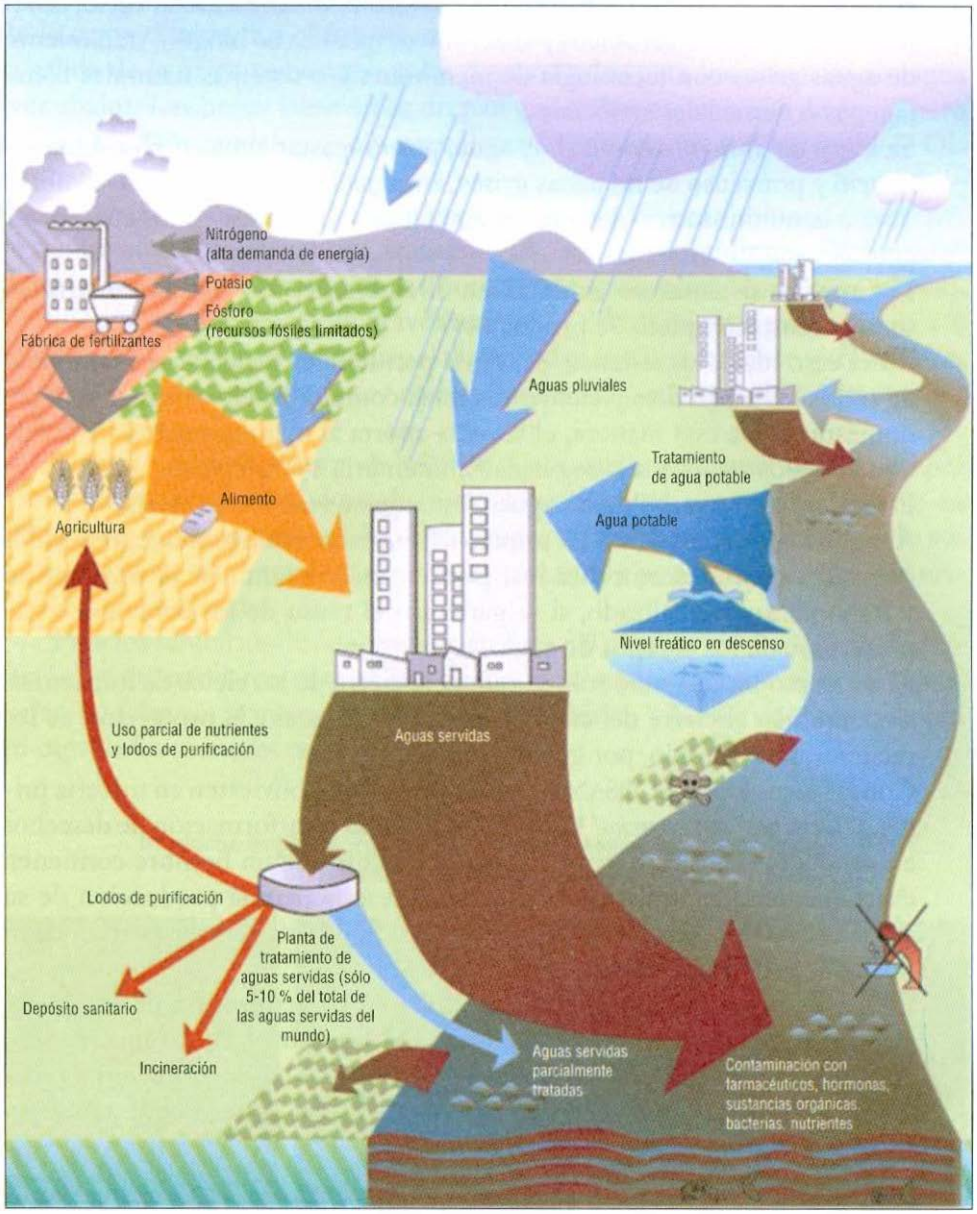
Las ventajas principales de los sistemas ECOSAN son las siguientes (basado en <www.gtz.de/ecosan>; Otterpohl, 1999; Lange & Otterpohl, 2000; Werner *et al.*, 2002, 2004b; Winblad, 2002):

- Los sistemas ECOSAN son flexibles. Se adaptan a distintos climas, varias culturas, ubicaciones difíciles como zonas rocosas y zonas con niveles superficiales de agua subterránea, y funcionan en áreas rurales y urbanas.
- Los sistemas ECOSAN ofrecen soluciones adaptadas y sostenibles para diferentes condiciones y requerimientos. Permiten un tratamiento aceptable y financiable de las aguas servidas en regiones rurales y urbanas pobres, así como para países ricos e industrializados.

- Los conceptos pueden incluir distintos niveles técnicos, desde soluciones de baja tecnología hasta soluciones sofisticadas de muy alta tecnología. Los elementos de los sistemas ECOSAN comprenden sanitarios de compostaje húmedo y seco, inodoros separadores de orina, canalización al vacío, sistemas de tratamiento aeróbicos y anaeróbicos (plantas de biogás), tratamiento de aguas grises con tecnología de membrana y/o sistemas naturales como lagunas o humedales artificiales.
- Se logra un ahorro sustancial de agua, por no gastar agua en el sistema sanitario y por reuso de las aguas grises, en especial en el riego. Eso también lleva a la minimización de la carga ambiental e higiénica en los cuerpos de agua.
- Los nuevos sistemas no contaminan el ambiente, por su aislamiento del suelo y reuso completo de productos.
- En el caso ideal, los sistemas ECOSAN permiten el reciclaje casi completo de todos los nutrientes y elementos traza contenidos en las aguas servidas domésticas. De esta manera, el sistema aporta al mantenimiento de la fertilidad de los suelos y a la seguridad alimentaria a largo plazo.
- El tratamiento y reuso de las aguas restantes se vuelve más fácil.
- Aunque los sistemas ECOSAN principalmente son sistemas descentralizados o sistemas semidescentralizados, pueden incluir también la recolección y tratamiento centralizado, si se garantiza el reuso de los contenidos y la protección de los cuerpos de agua.
- El concepto ECOSAN no sólo se refiere al cierre de los ciclos de nutrientes, sino también al cierre del ciclo de agua a nivel local y la protección de los recursos, por ejemplo, por generación de energía.
- Con las tecnologías ECOSAN las aguas servidas se convierten en materia prima. *¡"Desechos" son recursos!* ECOSAN significa la transformación de desechos en productos para el mercado. Los excrementos de un hombre contienen exactamente la cantidad de nutrientes necesaria para la producción de su alimento, medida en cereales. Para producir 250 kg de cereales, se requieren 7,5 kg de nitrógeno, fósforo y potasio.
- El uso de la sustancia orgánica procesada en la fertilización de los suelos ayuda a reducir el CO_2 en la atmósfera y disminuir el efecto invernadero en la tierra. Evita además la formación de N_2O, un gas invernadero importante, durante el proceso de desnitrificación en las plantas de tratamiento convencionales.

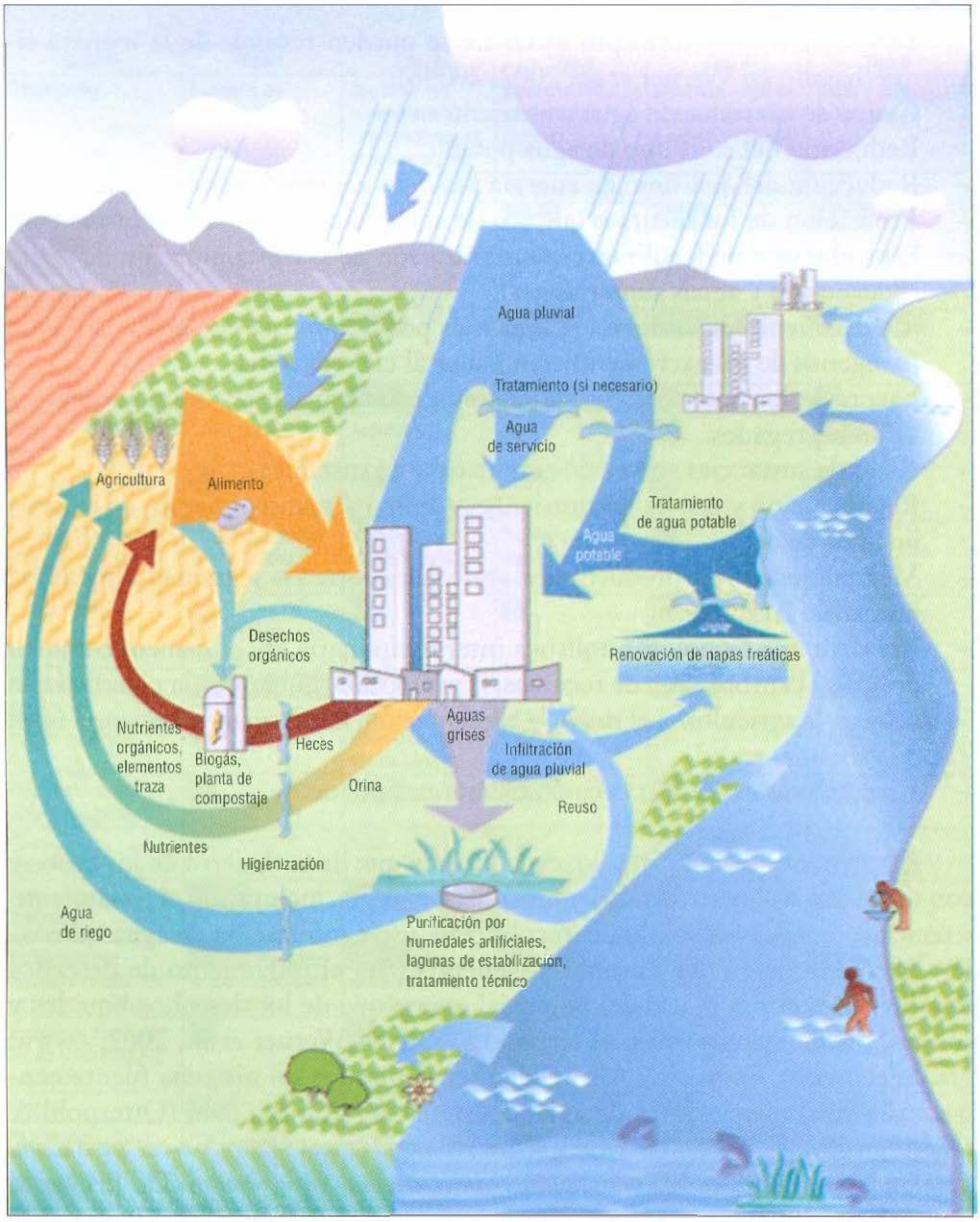
Las tecnologías ECOSAN combinan el ahorro de agua con la producción de abono a partir de los excrementos. Eso se logra, o directamente por los sanitarios de compostaje, o indirectamente por el compostaje secundario de las heces o la producción de biogás. Como paso adicional se puede separar los flujos distintos de orina y heces, o mejor dicho evitar su mezcla. Por eso, en los países

Figura 21
Esquema del sistema lineal convencional de suministro de agua y evacuación de aguas residuales



Fuente. <www.gtz.de/ecosan>.

Figura 22
Esquema de conceptos ECOSAN



Fuente: <www.gtz.de/ecosan>.

angloamericanos los inodoros separadores se llaman "no mix toilets". Proveen la oportunidad de usar la orina separadamente, como abono líquido especialmente rico en nitrógeno.

Los objetivos del concepto ECOSAN se pueden resumir de la manera siguiente (basado en Werner *et al.*, 2002, 2004b):

- Cierre de los ciclos de agua y nutrientes.
- Reducción del consumo de agua potable.
- Reducción del consumo de energía y uso de contenidos energéticos.
- Protección de los recursos (ahorro de agua, ahorro de materia prima para la producción de fertilizantes, minimización de la contaminación de aguas superficiales y aguas subterráneas).
- Mejoramiento de la situación higiénica por minimización de la entrada de patógenos de los excrementos humanos al ciclo de agua.
- Favorecimiento de sistemas modulares, descentralizados y orientados en los flujos segregados.
- Ciclo de sustancias en vez de eliminación de sustancias.
- Recuperación y uso de los nutrientes y apoyo al mantenimiento de la fertilidad de suelos.
- Mejoramiento de la productividad agrícola y aporte a la seguridad alimentaria humana a largo plazo.
- Aporte a una tecnología holística interdisciplinaria en: el manejo comunal de aguas, la protección de recursos, la protección ambiental, la planificación urbana, la agricultura, el riego, la alimentación, la energía y la higiene a nivel de vivienda.
- Favorecimiento de la creación de empresas pequeñas.

En un concepto más amplio, cada medida que lleva al cierre de los ciclos y con eso al uso o ahorro de nutrientes, agua y energía, incluyendo el tratamiento y reciclaje de residuos sólidos, la recolección, uso e infiltración de aguas pluviales, la minimización del consumo de energía para el tratamiento de desechos líquidos y sólidos, y el uso del potencial energético de los desechos líquidos y sólidos, puede incluirse bajo el término ECOSAN (Werner *et al.*, 2002; <www.gtz.de/ecosan>). Estos sistemas pueden ser realizados sin ninguna fuente centralizada de abastecimiento de agua o sistema de alcantarillado (Otterpohl & Oldenburg, 2007). *ECOSAN tiene que ser reconocido como mecanismo de producción limpia y puede ser un instrumento para reducir el efecto invernadero* (De Brujne & Dulacname, 2004).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha introducido el nuevo paradigma de saneamiento ecológico para países en desarrollo, en sus últimas guías de "Uso seguro de aguas servidas, excreta y aguas grises". Incluye, aparte de los aspectos técnicos, los aspectos socioculturales, institucionales, regulativos y políticos (WHO, 2006).

4.1. Características de las soluciones ecológicas

El saneamiento ecológico se basa en tres principios: sano, verde, valioso (Taller Internacional Saneamiento Ecológico, 2003).

Sano = previene enfermedades y promueve la salud.
Verde = protege el medio ambiente cerrando los ciclos de agua y nutrientes a nivel local, evita la contaminación de suelos y aguas.
Valioso = genera productos valiosos para uso agrícola.

Para poder utilizar los componentes valiosos contenidos en las aguas servidas domésticas se tiene que analizar los flujos segregados, que se describen en la tabla 5.

Tabla 5
Flujos segregados de aguas servidas domésticas

Flujo segregado	Descripción
Aguas negras	Aguas sanitarias con heces y orina
Aguas amarillas	Orina originada en urinarios y/o inodoros separadores, con o sin agua
Aguas cafés	Aguas negras sin orina
Aguas grises	Aguas servidas de cocina, lavamanos, ducha, máquina lavadora etc. (sin heces ni orina)

Fuente: Oldenburg & Otterpohl, 2002.

Tabla 6
Componentes principales en los flujos segregados de las aguas domésticas

	Aguas servidas totales	Aguas grises	Orina	Heces
	Volumen, en litros por persona y año	25.000 - 100.000	500	50
Componentes	**Carga anual total por persona y año**	**% (aprox.)**	**% (aprox.)**	**% (aprox.)**
N	aprox. 4 - 5 kg	3	87	10
P	aprox. 0.75 kg	10	50	40
K	aprox. 1.8 kg	34	54	12
COD	aprox. 30 kg	41	12	47
Gérmenes patógenos	++++++++++	++	+	+++++++
Residuos de fármacos	++++++++++	+	+++++++	++

Basado en Oldenburg & Otterpohl, 2002; Peter-Froehlich, 2003.

Se observa que la mayoría de los nutrientes se encuentran diluidos en la *orina*, un volumen mínimo comparado con la cantidad de las aguas grises. La orina, con pocas excepciones (por ejemplo, bilharciosis), no juega un rol en el traspaso de enfermedades. Se la puede usar directamente en la agricultura para

aumentar la fertilidad de los suelos. Si se separara la orina y se la usara como abono líquido, se daría un gran paso hacia el reuso.

El riesgo para la salud resulta principalmente de las *heces*. Su separación posibilitaría un tratamiento higiénico y la producción de un abono para el mejoramiento de la estructura de los suelos. Estos excrementos sólidos contienen algo más de 45% de la carga orgánica. Se debe procurar eliminar las heces sin o con muy poca agua para poder reutilizarlos.

El volumen más grande lo representan las *aguas grises* de la ducha, lavamanos y cocina. Las aguas grises contienen aproximadamente 40% de la carga orgánica. Su purificación es simple y representan un recurso importante para la generación de agua de servicio de alta calidad. (Oldenburg & Otterpohl, 2002; <www.gtz.de/ecosan>).

A través de la selección del concepto sanitario, decidimos si un humano genera abono para la alimentación de un humano o problemas de desechos, con la consecuente contaminación de los cuerpos de agua y riesgos para la salud humana. La base para los nuevos conceptos es el tratamiento en forma separada de los flujos segregados, lo que es la regla en la industria. Estas soluciones sustentables están correlacionadas con cambios en la agricultura. Se debe lograr un intercambio estrecho entre el manejo de las aguas servidas y la agricultura, en relación al uso de los nutrientes. (Otterpohl, 1999).

Tabla 7
Clasificación de flujos segregados en zonas residenciales y posibilidades para su tratamiento

Flujo segregado	Tratamiento adecuado	Ciclo relacionado
Aguas negras (orina, heces)	Aeróbico (compostaje) Anaeróbico (biogás)	Ciclo de alimentos
Desechos orgánicos	Aeróbico (compostaje) Anaeróbico (biogás)	Ciclo de alimentos
Aguas grises de baño, lavadora, cocina	Aeróbico (con biofilm, humedales artificiales u otros métodos)	Ciclo de agua
Agua pluvial	Uso e infiltración	Ciclo de agua
Desechos restantes	Recolección separada de materiales (papel, metales, plástico)	Reciclaje de recursos

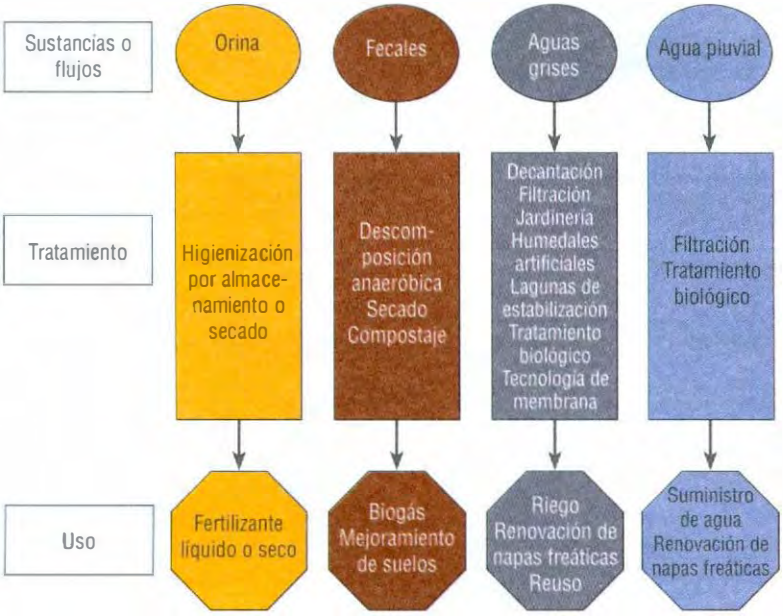
Basado en Otterpohl, 1999.

Para el tratamiento y uso de los flujos segregados de aguas servidas domésticas existen varias posibilidades (tabla 7, figura 23).

En el diseño y la implantación de técnicas sanitarias ecológicas se tiene que tomar en cuenta los siguientes aspectos (en base a Otterpohl, 1999):

- Separación en flujos segregados.
- Tratamiento y uso adecuado de los flujos segregados.
- Reconocimiento de ciclos locales de sustancias, integración de la agricultura.

Figura 23
Flujos segregados y su uso



Basado en GTZ, 2002

- Relación con conceptos energéticos, por ejemplo, uso de biogás.
- Observación de las cantidades de energía, emisiones y materiales para el tratamiento y reuso adecuado de los flujos parciales.
- Eventualmente incluir uso múltiple o sustitución de flujos parciales (por ejemplo, aguas pluviales para el lavado de ropa, aguas grises tratadas para los inodoros).
- No usar heces directamente en la fertilización de legumbres (ciclos largos garantizan la desinfección del material).
- Usar tubos de plástico para las redes de suministro y alcantarillado, no metales, para garantizar el reuso seguro de los flujos segregados.

Al proceso de compostaje y la generación de biogás se pueden incluir los desechos orgánicos de vivienda y jardín.

Para el compostaje de los excrementos, en caso de una familia de cuatro personas, se necesita un volumen disponible de espacio de 3 a 10 m^3. Las superficies necesarias para el uso del abono generado son de 200 a 400 m^2/habitante.

El compostaje semicentralizado (V) disminuye el esfuerzo económico y constructivo para la instalación del inodoro, el usuario tiene que vaciar el contenido del contenedor de excrementos regularmente a un espacio de compostaje centralizado. Una alternativa a los contenedores sólidos para la colección de los excrementos es la aplicación de bolsas de material biodegradable. El material recolectado también se puede degradar de forma anaeróbica en una planta de biogás.

Tabla 8
Comparación de los principales conceptos sanitarios

CONCEPTOS SANITARIOS CON FLUJO DE AGUA					
	Tipo de inodoro	**Transporte**	**Tratamiento**		**Uso**
Ia	Inodoro al vacío	Tubo de vacío	Planta de biogás		Abono
Ib	Inodoro separador	Canal	Planta de biogás		
		Tubo de orina			
Ic	Inodoro separador al vacío	Canal	Planta de biogás		Abono
		Tubo de orina			
IIa	Inodoro al vacío	Tubo de vacío, separación de fases	Sólido:	Compostaje	Abono
			Líquido:	Planta de biogás	
IIb	Inodoro separador	Canal	Planta de biogás		
		Tubo de orina			
IIIa	Inodoro al agua (WC)	Canal, separación de fases	Sólido:	Compostaje	Abono
			Líquido:	Planta de biogás	
IIIb	Inodoro Separador	Canal. separación de fases	Sólido:	Compostaje	
			Líquido:	Planta de biogás	
		Tubo de orina			
IVa	Inodoro al agua (WC)	Canal	Compostaje después de separación de líquidos		Abono
	Inodoro al vacío	Tubo de vacío			
IVb	Inodoro separador	Canal			
		Tubo de orina			
CONCEPTOS SANITARIOS SIN FLUJO DE AGUA					
	Tipo de inodoro	**Transporte**	**Tratamiento**		**Uso**
V	Inodoro seco	Manual	Compostaje		Abono
VI	Inodoro seco con precompostaje	Manual	Compostaje		Abono
VII	Inodoro seco con precompostaje	Manual	Planta de biogás		Abono
TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO PARA CLIMA CALIENTE					
	Tipo de inodoro	**Transporte**	**Tratamiento**		**Uso**
VIII	Inodoro separador de secado (Higiene anal seca)	Manual	Dehidratación de heces		Abono seco + orina
		Tubo de orina			
IX	Inodoro seco (Higiene anal húmeda)	Tubo	Planta de biogás		Abono
CONCEPTOS SANITARIOS CERCANOS A CAMPOS AGRÍCOLAS Y CRECIMIENTO VEGETAL DURANTE TODO EL AÑO					
	Tipo de inodoro	**Transporte**	**Tratamiento**		**Uso**
X	Inodoro al agua (WC) Inodoro separador	Canal, se puede mezclar con aguas grises	Planta de tratamiento (sin denitrificación) Lagunas de estabilización Lagunas con vegetación Humedales artificiales		Riego

Basado en Otterpohl, 1999.

Como variante para zonas climáticas más cálidas, el inodoro secador con uso de energía solar pasiva es un concepto apropiado. Este material seco se usa después de uno a dos años como abono seco o como combustible (VIII). En zonas de uso de higiene anal húmeda se recomienda una planta de biogás.

Todos los sistemas I a IX se basan en una separación de las aguas grises, las cuales tienen que ser tratadas y usadas separadamente. Existen varios métodos para la purificación de las aguas grises:

- Biofilm en un filtro ascendente u otro (consumo alto de energía y alto requerimiento de mantenimiento).
- Lagunas de estabilización o lagunas con vegetación o humedales artificiales (bajo consumo de energía y poco requerimiento de mantenimiento).
- Sistemas de acuacultura (necesitan grandes espacios y pueden requerir altos costos y energía en clima frío).

En cada caso se puede usar el agua gris tratada para el riego (Otterpohl, 1999).

4.2. Actividades internacionales en técnicas sanitarias ecológicas

Las bases científicas y las técnicas nuevas se desarrollaron principalmente en Suecia, desde los años 60; el especialista sueco más conocido a nivel mundial es Uno Winblad. También se deben mencionar la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania, con Ralf Otterpohl y el Instituto Federal Suizo para Ciencias y Técnicas Ambientales (EAWAG) en Zúrich, Suiza, con su Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo (SANDEC).

La promoción de este concepto ha comenzado a escala internacional con una iniciativa sueca. En los años 90 Suecia llevó a cabo el programa SANRES para promover e investigar sistemas ECOSAN a nivel internacional (Winblad, 2002).

En 1997, la creación de un grupo de trabajo del WSSCC (Water Supply and Sanitation Council) para desarrollar la visión de una nueva estrategia para la "Gestión integral de las aguas servidas y desechos en el siglo 21", culminó en el desarrollo del concepto sanitario ecológico centrado en la vivienda, descrito en el capítulo III.

La GTZ (Agencia de Cooperación Técnica Internacional de Alemania), financiada por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), comenzó en mayo de 2001 el proyecto de investigación y desarrollo ECOSAN, que es un proyecto mundial. Con este proyecto se quiere aportar mundialmente a la implementación de nuevos conceptos integrales que se basan en la idea de un manejo cíclico, orientado hacia la segregación de los flujos de aguas servidas. (Werner *et al.*, 2002).

Figura 24
Proyectos de saneamiento ecológico de la GTZ

Fuente: Werner *et al.*, 2003.

Este proyecto sectorial se caracteriza por una interconexión global e interdisciplinaria de la cooperación y el manejo de conocimientos.

Aparte de las soluciones técnicas, las estrategias ECOSAN deben incluir aspectos interdisciplinarios para fomentar la conciencia pública, el mejoramiento de la higiene, el mercadeo de los productos, el uso seguro de los productos en la agricultura, y el desarrollo de microempresas para construcción y mantenimiento de las instalaciones y otros aspectos. Estrategias holísticas se basan en la integración de campos relacionados: agricultura (especialmente en zonas urbanas), alimentación segura, salud, economía privada, planificación urbana y manejo de desechos son partes imprescindibles de ciclos cerrados en el manejo de las aguas servidas.

Los objetivos importantes del trabajo son la implementación y seguimiento de proyectos piloto, la socialización de las experiencias y el manejo de los conocimientos existentes y adquiridos. Para eso se ha implementado una red global por internet y se está realizando regularmente simposios internacionales.

En el Tercer Foro Mundial de Kyoto, Japón (2003), salió una declaración para sistemas ECOSAN que establece lo siguiente (GTZ, 2003):

- El saneamiento ecológico (ECOSAN) es una aplicación tanto a favor del medio ambiente como segura para el saneamiento.
- ECOSAN es un enfoque global para economizar el agua a través del ahorro de la misma, evitar la polución, y favorecer la reconstrucción y fertilidad

de los suelos a través de la reutilización segura de las sustancias nutritivas y materiales orgánicos, respectivamente saneados.

- ECOSAN comprende soluciones baratas, así como costosas para regiones urbanas y rurales. ECOSAN puede ser más efectivo en términos de costos, en comparación con los sistemas tradicionales y ofrece mayor oportunidad de alcanzar realmente, en el área de saneamiento, los Objetivos de Desarrollo del Milenio, propuestos en Johannesburgo (2002).
- ECOSAN puede ser utilizado en un amplio espectro de condiciones físicas, culturales y económicas, ofreciendo la posibilidad de alcanzar un sistema de evacuación sostenible.
- ECOSAN está siendo aplicado exitosamente en muchos lugares en África, Asia, Europa, América y Oceanía.
- En el Tercer Foro Mundial del Agua en Kyoto, ECOSAN ha sido revelada como una de las mejores opciones para lograr alcanzar los Objetivos del Milenio, apoyada entre otros por UNDP, UNEP, UNICEF, WB-WSP, EU, el gobierno de Uganda, GTZ (Alemania), ASDI (Suecia), la Cooperación Austríaca, SDC (Suiza), IWA, CREPA, Mvula Trust, la ciudad de Kyoto, y la Asociación de Toilettes de Japón.

Mundialmente existen ya muchos ejemplos de implementación, en países industrializados y en países en desarrollo, y su cantidad crece exponencialmente. La mayoría de los proyectos se implementó en zonas rurales, menos se ocuparon de las zonas periurbanas. Subsiste la urgente necesidad de investigación y desarrollo de sistemas ECOSAN para áreas urbanas, donde la demanda de sistemas de saneamiento sostenible es mayor. Varios ejemplos de implementación de las tecnologías ECOSAN se reportan como estudios de caso en el capítulo VIII, subtítulos 1.1. y 2.2.

La aceptación de los sistemas ECOSAN a escala mundial se basa en su costo relativamente bajo, la reducción del volumen total de "residuos" a manejar y la conveniencia para los usuarios (GTZ, 2003).

4.3. Sanitarios ecológicos con producción de abono

El manejo de la materia fecal y su recuperación como abono es mucho más fácil sin dilución con agua. *¡Los sanitarios ecológicos de compostaje no son letrinas!* Contrariamente a éstas, funcionan aeróbicamente y no desprenden olores. Durante el proceso de compostaje, la masa fecal se reduce a un 10% del volumen original. Anualmente se generan aproximadamente 40 litros de compost por persona (Berger, 2002).

Entre los procedimientos aeróbicos, los sanitarios de compostaje son la solución más eficiente para la retención descentralizada y el reciclaje de los nutrientes contenidos en nuestros excrementos.

Principalmente existen cinco tipos de sanitarios de compostaje:

1. *Sanitario separador de deshidratación con dos cámaras.* Este sanitario deshidrata la masa fecal en vez de compostarla. La orina se separa y las heces se secan. Las cámaras de heces se usan alternamente para posibilitar un reposo y secado por un tiempo aproximado de un año. Se necesita un espacio debajo del retrete para la instalación de las cámaras desecadoras. No deben entrar otros desechos orgánicos.
2. *Sanitario mezclador con depósito grande e inclinado*, donde se evapora el líquido y se descompone la masa fecal húmeda por lo menos un año. El proceso de compostaje es frío, por la entrada continua de masa fresca. Si la evaporación no es suficiente, el líquido se recoge regularmente del fondo del depósito. Por su tamaño, el depósito se instala en el sótano debajo del retrete. Los excrementos se descomponen junto con los desechos orgánicos de la cocina y otros desechos compostables.
3. *Sanitario mezclador con varios depósitos en forma de carrusel.* Los depósitos de excrementos se llenan uno tras otro, así que se evita la entrada continua de masa fresca. Después del llenado quedan por lo menos un año en reposo. Se trata de un sistema de compostaje por lotes. Igual al tipo 2, es capaz de digerir todos los desechos orgánicos de la vivienda.
4. *Inodoro mezclador de heces y orina de tamaño reducido*, con evaporación de los líquidos y proceso de compostaje acelerado por calentamiento y mezcla de la masa fecal. Necesita fuente de energía eléctrica. El depósito está incluido en el inodoro y por eso este sanitario se puede instalar secundariamente en cualquier lugar. Por su tamaño no deben entrar otros desechos orgánicos.
5. *Balde de recolección de fecales y orina*, sin separación, y compostaje externo en el patio o jardín. Se puede implementar en cualquier situación. La mezcla con otros desechos orgánicos de la vivienda y del jardín se realiza en la compostera externa.

Existen numerosas variaciones de estos sistemas en el mercado y también numerosos modelos de autoconstrucción, con costos muy diferentes, también accesibles para los más pobres.

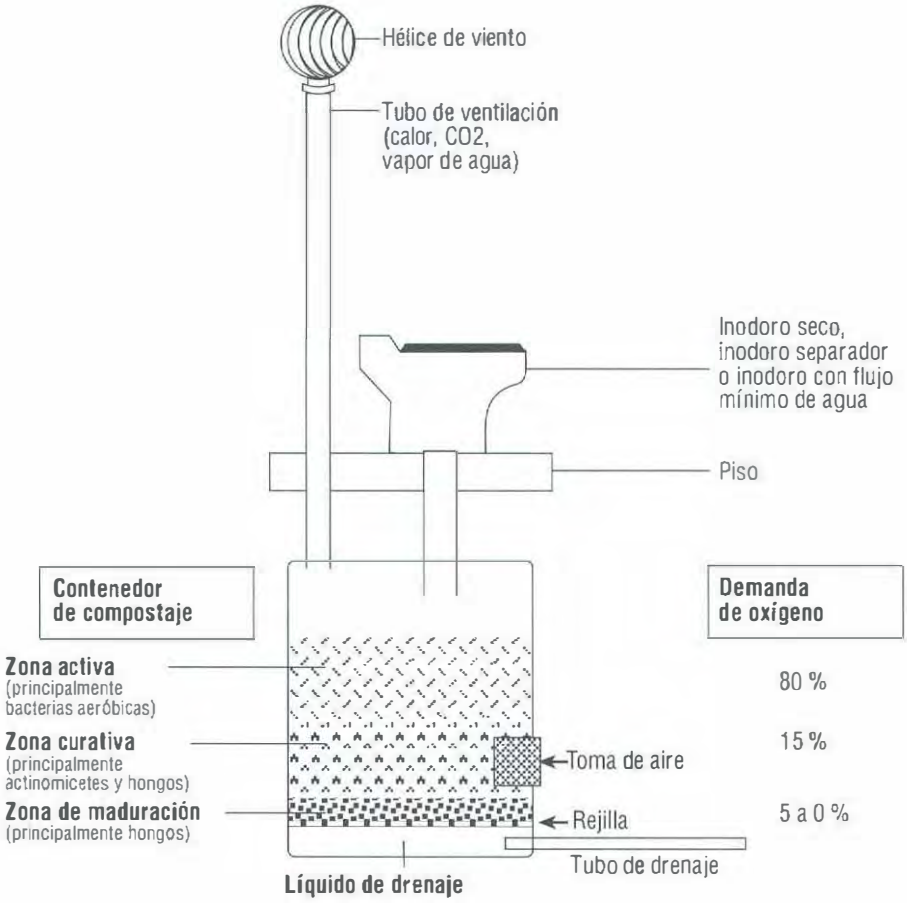
Actualmente, por el desarrollo tecnológico se posibilita el tratamiento higiénicamente seguro de heces, la operación sin olores y la comodidad máxima por los nuevos sanitarios ecológicos. La OMS (Organización Mundial de Salud) y muchas otras instituciones recomiendan un compostaje controlado de heces. No se detectaron problemas en estudios higiénicos y los sanitarios de compostaje se aprueban por las autoridades de salud en varios países. (Krusche *et al.*, 1982; Berger, 2002; Del Porto & Steinfeld, 2000).

Actualmente, se usan sanitarios ecológicos con producción de compost en casi todo el mundo, su uso se incrementa rápidamente y con eso su aceptación por los entes reguladores. Su origen está en Suecia, donde se desarrollaron en

los años 60 del siglo pasado, para solucionar los problemas sanitarios de las casas de campo y se exportaron a América del Norte, Australia y Nueva Zelanda ya en los años 60. En Estados Unidos, desde los años 80 estos inodoros se usan especialmente como baños públicos en áreas de recreación y parques naturales. En otros países de Europa, se ofertan desde los años 80 y se aplican principalmente en casas unifamiliares. Los sanitarios modernos de compostaje directo permiten hasta cuatro conexiones, lo que significa una altura máxima de las casas usuarias de cuatro pisos. En los países en desarrollo, la implementación de retretes ecológicos ha comenzado a partir de los años 90 y se intensificó alrededor del año 2000. (Berger, 2002; Del Porto, 2000; Winblad & Simpson-Hébert, 2004).

El diagrama muestra un sanitario típico de compostaje, con los procesos más importantes.

Figura 25
Elementos y procesos generales en un sanitario de compostaje



Dibujo basado en Del Porto & Steinfeld, 2000.

Los factores importantes en el proceso de compostaje son la aireación con suficiente *oxígeno*, la *humedad*, la *temperatura*, y la *relación entre carbono y nitrógeno*.

Se deben mantener condiciones estrictamente *aeróbicas* y evitar áreas demasiado húmedas para prevenir malos olores y pérdidas de nitrógeno en forma de amoniaco.

La masa en descomposición debe tener un contenido de *humedad* entre 45 y 70%, es decir, la humedad de una esponja exprimida. En sanitarios de compostaje sin separación de orina, la masa es a veces demasiado húmeda, lo que resulta en descomposición anaeróbica y olores desagradables; la humedad de las heces (66 - 80%) generalmente es suficiente para la descomposición. En el primer caso, se debe ventilar el depósito y mezclar la masa regularmente. Cuando se usan inodoros separadores, a veces falta humedad; en este caso se puede adicionar de vez en cuando una taza de agua.

La *temperatura*, en la mayoría de los sanitarios de compostaje, está alrededor de 20° C, por la entrada continua de masa fresca. Los microorganismos descomponedores importantes en este rango de temperatura son los hongos y los actinomicetes, por ejemplo, *Streptomyces griseus*. Se puede mejorar el proceso de compostaje colocando el depósito en un lugar caliente o utilizando energía solar. Los sanitarios con depósitos reducidos usan un calentador eléctrico.

Los microorganismos descomponedores necesitan una cierta relación entre sustancias orgánicas, con alto contenido de carbono y sustancias nitrogenadas (*relación C:N*). La relación óptima para el desarrollo de microorganismos aeróbicos, es C:N = 25:1, medido en peso seco. Las heces, y en especial la orina, tienen una relación C:N más baja, así que se necesita la adición de mucho material rico en carbono, como paja o aserrín, cuando la orina entra al depósito de compostaje.

Higiene

Los resultados en varios países han comprobado la inocuidad del compost producido a partir de heces en inodoros de compostaje (Berger, 2002). Si el compostaje se realiza por un proceso de alta temperatura, los microorganismos patógenos se destruyen en pocas semanas; si el proceso es frío, como en la mayoría de los sanitarios de compostaje directo, la higienización del producto dura más tiempo. Por seguridad se recomienda dejar madurar el compost por lo menos un año para que se destruyan también los huevos de helmintos, que son los más resistentes entre los patógenos. En los países tropicales y subtropicales, y en especial en países en desarrollo, donde las infecciones con patógenos intestinales son más frecuentes, por seguridad, se debería esperar dos a tres años antes de usar el compost maduro o evitar su uso en plantas comestibles en contacto directo con el abono, como las verduras. También se recomienda aplicar el compost antes de la siembra y dejarlo unos días sobre el suelo, expuesto al sol. (Jenkins, 1999; Van der Meulen *et al.*, 2004; Winblad, 2002).

Tabla 9
Periodo de sobrevivencia de patógenos en lodos fecales húmedos

	Tiempo promedio de sobrevivencia	
Organismo	Clima templado (10 - 15° C)	Clima tropical (20 - 30° C)
Coliformes fecales	< 150 días	< 50 días
Helmintos	2 - 3 años	10 - 12 meses
Protozoarios	< 30 días	< 15 días
Virus	< 100 días	< 20 días

Fuente: EAWAG/SANDEC, 1999, citado en Werner *et al.*, 2003.

En general, se recomienda el tratamiento del compost en lotes preferiblemente a un proceso semicontinuo, como ocurre en los depósitos de los inodoros de compostaje directo (Del Porto & Steinfeld, 2000; Malmen *et al.*, 2004).

En los inodoros de deshidratación, la elevación del pH por adición de ceniza o cal y altas temperaturas en las cámaras de desecación son los factores más importantes en la higienización del producto. La elevación de la temperatura se logra por la orientación de los depósitos hacia el sol y pintura negra en las cubiertas de metal.

Tabla 10
Condiciones ambientales que estimulan la muerte de los patógenos

Factores ambientales	Proceso	Medidas en sanitarios ecológicos
Temperatura	Incremento de temperatura	Compostaje en lotes Calentamiento solar Calefacción
Humedad	Decremento de humedad	Deshidratación
Nutrientes	Decremento de nutrientes	
Luz solar	Incremento de luz solar	Exposición al sol (rayos UV)
pH	Incremento de pH	Cal o ceniza como materiales aditivos

Fuente: Torrico, 2004.

Limpieza

Todos los modelos se limpian con poca agua y detergente biodegradable, por ejemplo jabón, en especial el asiento y el tubo de caída. El agua de limpieza no perturba el proceso de compostaje, si las cantidades son mínimas. En caso necesario estas partes se pueden desinfectar, sin que entre el desinfectante al depósito de los excrementos, para no disturbar el proceso de compostaje y restringir el uso del producto final.

Operación y mantenimiento

Los distintos modelos son diferentes en su operación y mantenimiento. Las necesidades especiales se explican separadamente para cada tipo. En general, necesitan, antes del primer uso, la introducción de una capa orgánica en el fondo del depósito para la absorción de líquidos y la inoculación con bacterias descomponedoras (Berger, 2002).

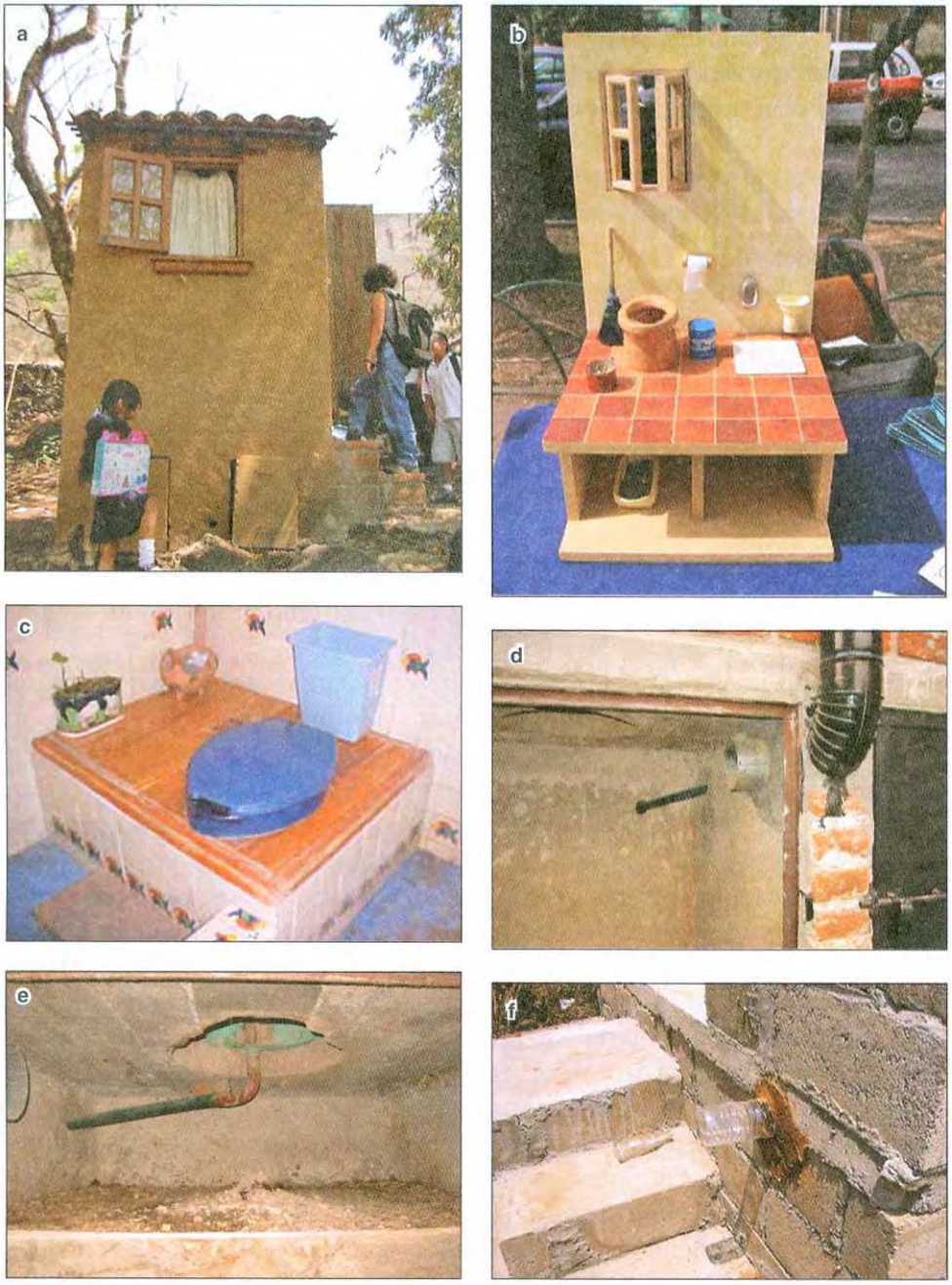
Tipo 1:

Sanitario de desecación para autoconstrucción, desarrollado en Vietnam, y actualmente, con varias adaptaciones, distribuido en todo el mundo, principalmente en los países en desarrollo. Es apto para su implementación fuera y dentro de la casa, también en planta alta, es fácil de construir y manejar, y no necesita grandes inversiones. El sistema consiste en un inodoro separador de la orina y dos cámaras para el secado de las heces. La orina se deriva a un bidón. Cuando el bidón está lleno, el líquido se deja reposar entre dos a tres semanas, se mezcla con agua en una proporción de 1: 5 hasta 1: 10 y se usa en el riego de plantas. Las heces entran a una de las cámaras y después de cada uso se adiciona material secante, generalmente ceniza o tierra mezclada con cal. Con la ceniza o la cal, el pH de la masa se equilibra en el nivel básico alrededor de un pH 9, lo que ayuda en la destrucción de patógenos intestinales. Cuando la cámara se ha llenado, se sella y se utiliza la otra. El tamaño de las cámaras tiene que ser suficiente para su uso durante un año entero, a fin de dejar reposar la masa en cada cámara por lo menos un año. El abono resultante es seco, de color gris, de textura fina y carece de mal olor. Para su uso se lo cuela por una criba y se lo deja asolear sobre una lámina durante 3 a 4 días. (Winblad, 1999; Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, 2001; Torrico, 2004).
Una de las mejoras recientes en estos sanitarios es una trampa de moscas. Una botella transparente se introduce en la pared de las cámaras de desecación de heces, con su cuello abierto hacia adentro. Las moscas presentes en la cámara de desecación, se dejan atraer por la luz y quedan atrapadas en las botellas.

La humedad es un factor de riesgo en este tipo de sanitarios, por lo que no son aptos para climas húmedos. Su funcionamiento se puede mejorar con un sistema de calefacción por energía solar, así pueden resultar en un sistema excelente en situaciones de falta de fuentes financieras y para distintas situaciones sociales y geográficas (Otterpohl, 1999; Winblad, 2002; Esrey *et al.*, 2001).

Una de las desventajas de este sistema es el hecho que el material fecal sólo se seca, en vez de estabilizarse por un proceso de compostaje, y el papel higiénico no se deshace. Existe la posibilidad de someter el material seco al compostaje posterior, humedeciéndolo y mezclándolo con otros desechos orgánicos de cocina y jardín. Este procedimiento también aumenta la seguridad

Figura 26
Sanitarios de desecación y su autoconstrucción



a: baño exterior de escuela primaria, en Tepoztlán: b: maqueta de sanitario ecológico; c: baño en el interior de una casa, en segundo piso; d: tubo de ventilación, para un mejor secado de la masa fecal; e: tubo de orina pasando por la cámara; f: trampa para moscas, a partir de una botella plástica transparente Fotos. Proyecto TepozEco, México.

higiénica del futuro abono, porque algunos patógenos sobreviven el proceso de desecación y sólo se destruyen por compostaje húmedo. La deshidratación, en ciertos patógenos, lleva a la formación de endoesporas, que pueden sobrevivir por décadas y recuperar plenamente su potencial patógeno cuando se rehidratan. Los huevos de *Ascaris lumbricoides*, un parásito ampliamente distribuido, también se mantienen viables en un ambiente seco.

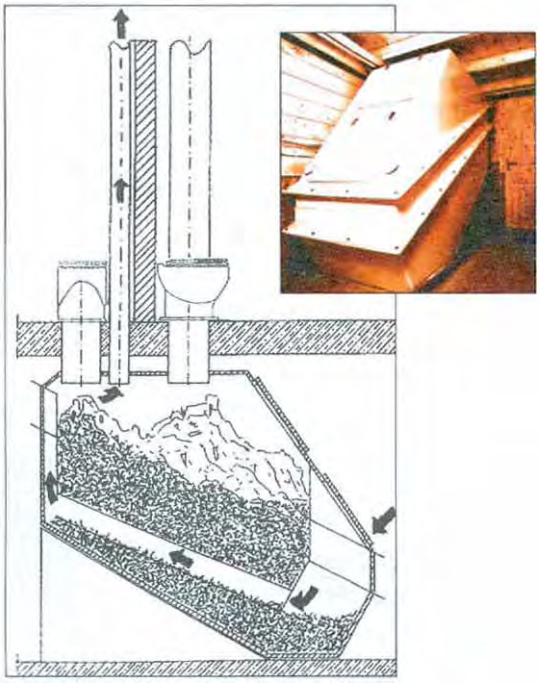
Tipo 2:

Primer modelo de un sanitario ecológico, desarrollado en Suecia por Rikard Lindstroem; el modelo ha adquirido el nombre Clivus Multrum, por la empresa original más antigua en el mundo. Clivus Multrum es una palabra sueca que significa "cámara con pendiente", según el tipo de construcción del depósito. En todo el planeta existen muchas experiencias de aplicación de este tipo. Como la patente ha caducado, existen varias copias en diferentes países, lo que muestra su popularidad, junto con las distintas adaptaciones para autoconstrucción (ver entre otros Del Porto & Steinfeld, 2000; Franken & Eguivar, 2000).

El sanitario consta de una cámara compostera grande, con piso inclinado, conductos de aire para su oxigenación y, en el extremo más bajo, un área de almacenado de la masa madura (Esrey *et al.*, 2001).

El sistema puede ser planificado en diferentes tamaños como parte integral de la casa, también puede ser implementado de forma secundaria. El depósito para el compost se fabrica de fibra de vidrio o polietileno, y tiene un tamaño de varios metros cúbicos, con fondo inclinado. En su interior se encuentran canales en forma de U para la aireación, abriéndose hacia abajo. Una chimenea de aireación genera una presión ligeramente menor en el depósito, lo que causa una aireación continua y saca los malos olores. Tiene generalmente dos tubos amplios de entrada, uno para las heces (tubo bajante del inodoro) y otro que baja de la cocina para el vertido de los desechos orgánicos. Heces y desechos orgánicos caen sobre la superficie inclinada, que en un principio tiene que recibir una cubierta con hojarasca y compost, para la iniciación del proceso de compostaje y para absorber la humedad excedente. Mientras se llena continuamente el depósito, el material se descompone y se desliza lentamente hacia abajo, donde se puede sacar el compost maduro por una puerta, después de uno a varios años. Durante este tiempo, el volumen inicial se ha reducido a un quinto hasta un décimo. Se saca sólo el material maduro, generalmente una vez al año. Normalmente, la mezcla de heces con los desechos orgánicos de la cocina garantiza un proceso de compostaje correcto (Krusche *et al.*, 1982). En caso de no tener suficientes desechos orgánicos, se introduce aserrín u otros materiales ricos en sustancias carbónicas (Franken & Eguivar, 2000).

Figura 27
Sanitario ecológico, modelo Clivus Multrum clásico



Corte por el sistema, con varios inodoros conectados al mismo depósito. Fuente: Werner et al., 2003.

La humedad de la orina, en especial en el inicio, puede causar problemas de formación de bolsas anaeróbicas que generan olores desagradables y donde no se eliminan los patógenos. Estos problemas se pueden solucionar por la instalación de un ventilador en el tubo de aireación (por ejemplo, una hélice de viento) y la introducción de turba o aserrín. También se puede instalar un drenaje para los líquidos en exceso, retenerlos en un balde, diluirlos de 1 : 5, y usarlos para el riego de árboles y arbustos. Durante su uso, se necesita una vez al mes alrededor de 1 hora para el mantenimiento del sistema, lo que consiste en el movido de la masa depositada para garantizar una mejor mezcla y la aireación completa de toda la masa. Para este fin se ha desarrollado una barra especial. (Krusche *et al.*, 1982; Franken & Eguivar, 2000; Berger, 2002).

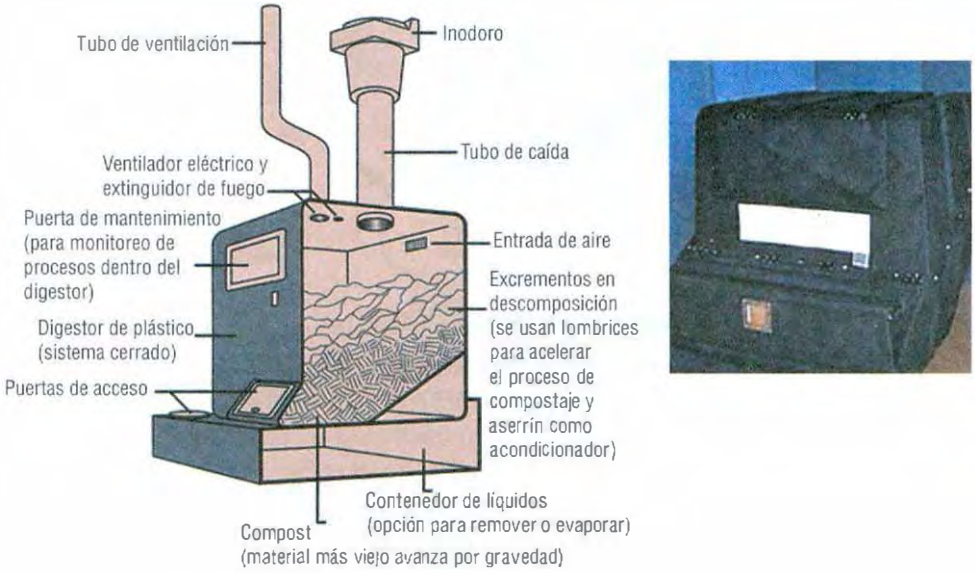
También se evitan las bolsas anaeróbicas y la humedad excesiva en el depósito por la implementación de inodoros separadores de orina, como en el inodoro de deshidratación. En este caso, se pueden introducir lombrices, organismos sensibles a la orina, en el depósito de compostaje para apoyar al proceso de mezcla y humificación. Hay que tomar en cuenta que las lombrices necesitan alta humedad (70-80%) para su desarrollo. Por otro lado, la orina ya no estaría

en contacto con la masa fecal, lo que evita los problemas higiénicos en su manejo y aplicación.

El compost maduro se retira por primera vez del depósito después de 2 a 3 años, luego se retira cada año la masa madura.

Los materiales orgánicos se descomponen sobre un fondo inclinado. La aireación se realiza por canales especiales. La chimenea de aireación genera una ligera presión baja en la cámara, que evita malos olores. Se pueden conectar varios tubos de caída. El humus maduro se junta por gravedad delante de la puerta de vaciado.

Figura 28
Depósito de un Clivus Multrum de última generación



Fuente: <www.thenaturalhome.com>.

Corte por el sanitario, con partes y su función. Fuente: <www.thenaturalhome.com>

Tipo 3:

Sanitario con compostaje incluido, en varios depósitos separados. Los depósitos, generalmente, se ubican en forma de carrusel debajo del inodoro. Se trata de dos cámaras cilíndricas, la exterior está fija, la interior, separada en varios compartimentos, gira sobre un eje. Contiene entre tres y seis depósitos. Cuando uno de los depósitos se ha llenado, el carrusel se mueve y el próximo se coloca debajo del conducto de caída de la taza de inodoro, así que se llenan uno tras otro, cambiando su posición. Los depósitos llenos se hacen reposar por lo menos un año, antes de su vaciado y uso de la masa procesada. El material

maduro se retira por una puerta de acceso. La ventaja de esta construcción es el compostaje del material fecal por lotes, evitando la entrada continua de masa fresca. Esto evita la mezcla accidental e indeseada de patógenos, nutrientes, sales y amonio con material ya maduro. A los recipientes llenos se pueden introducir lombrices para mejorar el proceso de compostaje. (Del Porto & Steinfeld, 2000; Esrey *et al.*, 2001).

En vez de usar un carrusel con varios depósitos, lo que puede resultar en fallas técnicas, se pueden usar varias fosas, lado a lado, semejante al tipo uno de desecación. Los modelos de menor costo se derivan de las letrinas y se desarrollaron en África por Morgan (2007).

Figura 29
Sanitario de compostaje tipo carrusel

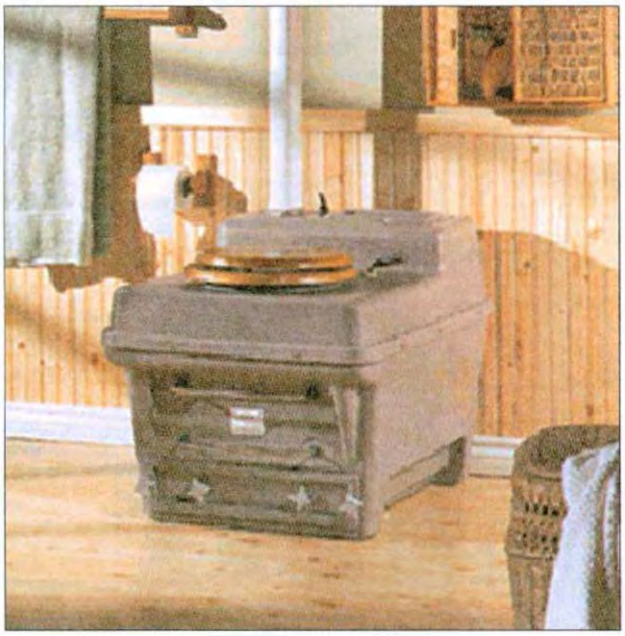
Fuente: Del Porto & Steinfeld, 2000.

Tipo 4:

Sanitario con depósito pequeño, especialmente para casas de campo. El depósito y el inodoro forman un conjunto, de modo que se pueden ubicar en el baño de la casa, sin necesidad de remodelación. Sólo se necesita la conexión del tubo de aireación hacia afuera. La masa colectada en el depósito se mezcla manualmente o con ayuda de un pequeño motor, además el modelo tiene un calentador, para

acelerar el proceso de compostaje del material. Este manejo activo del proceso con volteo regular y calentamiento de la masa acelera significativamente la eficiencia y reduce rápidamente el volumen de la masa. El compost maduro cae por una malla hacia abajo, donde se puede retirar sacando un cajón. Inodoros de este tipo son provistos por varias empresas. Se tiene que tomar en cuenta que usan energía eléctrica.

Figura 30
Inodoro de compostaje de ENVIROLET, con mezclador eléctrico y tubo de aireación



Fuente: <www.envirolet.com>.

Tipo 5:

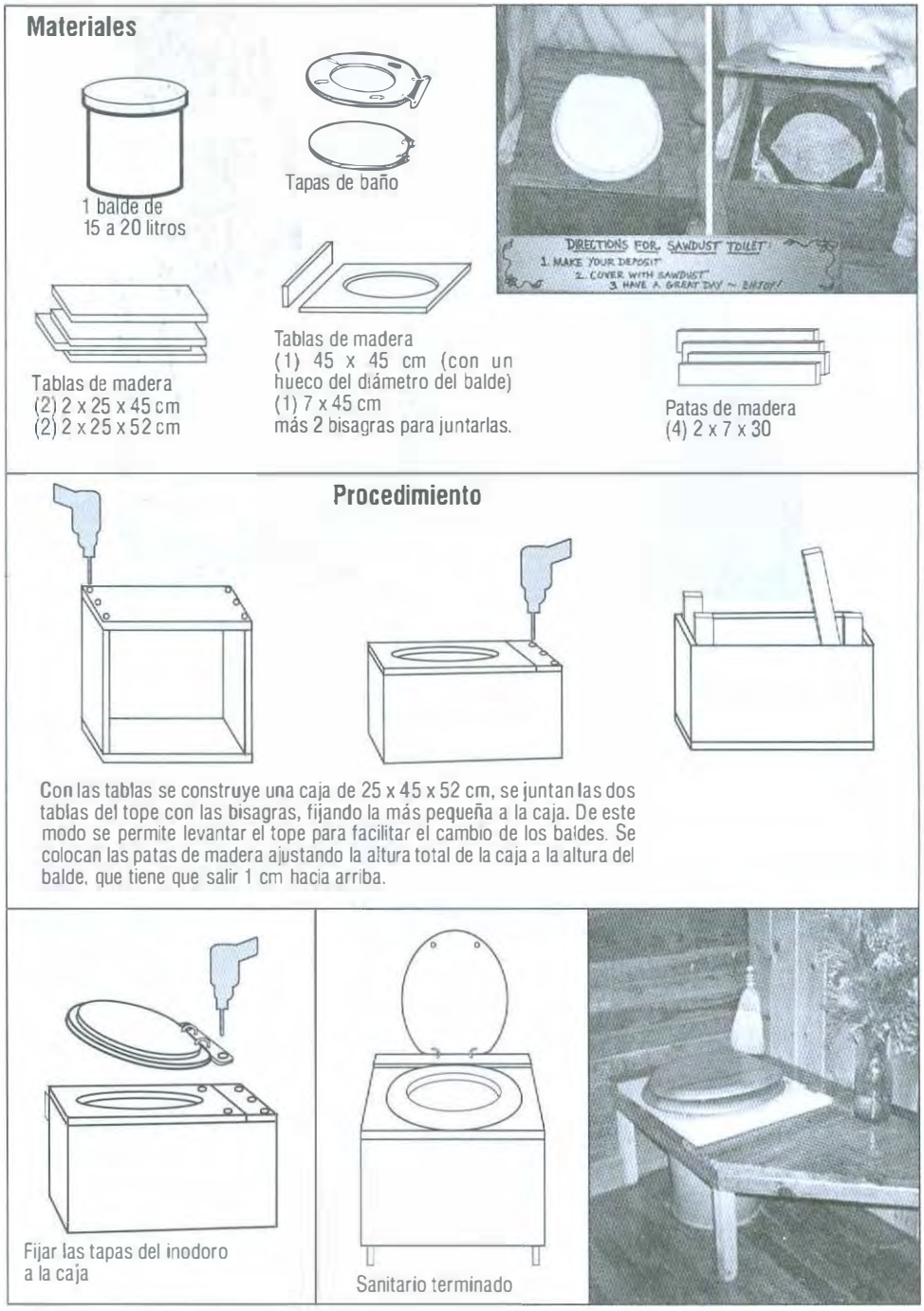
Es el tipo más simple y económico, consiste sólo en un balde de recolección de heces y orina. El contenido se tiene que vaciar, cada tres días, a una pila de compost en el jardín. Antes de su uso, el balde se llena a un tercio con aserrín o corteza molida. La corteza absorbe mejor los olores. El balde se encuentra en una estructura de plástico o de madera y se cierra herméticamente por una tapa de inodoro. Actualmente, ya se venden bolsas de material orgánico biodegradable, para ser incluidas en los baldes y facilitar el retiro de la masa a la pila de compost, donde se descomponen junto con la masa fecal. Después de cada uso, los excrementos se tapan con aserrín o corteza molida para evitar olores. (Berger, 2002; Jenkins, 1999).

Figura 31
Dos modelos de sanitarios de balde de BERGER, Hamburgo

En el interior se perciben los sacos de fibra de maíz polimerizada.
Foto: Margot Franken.

En vez de usar baldes relativamente pequeños en el mismo baño, también se pueden instalar recipientes más grandes, debajo del cuarto de baño, que se retiran con menor frecuencia y con más facilidad cuando están provistos de ruedas (ver estudio de caso Gebers, capítulo VIII, subtítulo 1.1.7.).

Figura 32
Construcción de sanitario de balde y modelo terminado



Dibujo basado en Jenkins, 1999.

Tabla 11
Características, ventajas y desventajas de los distintos tipos de sanitarios ecológicos

Criterio	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Descripción	**Sanitario de desecación**	**Sanitario con compostaje interno continuo en deposito grande**	**Sanitario con depósitos en carrusel**	**Sanitario pequeño con calentamiento y mezclado forzado**	**Balde y compostaje exterior**
Separación de orina	Imprescindible	No, pero posible	No, pero posible	No, pero posible	No, pero posible
Requerimientos de espacio	Moderado	Grande	Grande	Poco	Poco
Instalación en interior de la casa	Posible	Posible	Posible	Posible	Posible
Instalación posterior en el interior de la casa	Posible	Difícil	Difícil	Sin problemas	Sin problemas
Autoconstrucción	Sí	Posible	Posible	No	Sí
Espacio exterior para compostaje	Aconsejable	Aconsejable	No	No	Imprescindible
Instalación en clima húmedo	No	Posible	Posible	Sí	Sí
Instalación en clima frío	Posible con calentamiento solar	Posible con depósito en lugar protegido	Posible con depósito en lugar protegido	Sí	Sí
Uso de energía	No, energía solar recomendable	No	No	Sí	No
Proceso de compostaje	No hay compostaje	Frío	Frío	Caliente	Caliente
Uso de lombrices	No	Posible cuando se separa la orina	Posible	No	Posible
Mezcla con otros desechos orgánicos	No	Posible	Posible	No	Posible
Operación y mantenimiento	Fácil	Fácil	Fácil	Muy fácil	Fácil, pero más trabajo
Problemas con humedad	Posible	Posible	Posible	No	No
Problemas con parásitos resistentes en la masa madura	Posible, por resistencia de parásitos a desecación	Posible, por entrada continua de masa fresca	No, se evita la mezcla con masa fresca	No, por proceso de compostaje caliente	No, por proceso de compostaje caliente
Problemas con parásitos en orina o líquido percolado	No	Sí	No	No	No
Costos	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Muy bajo
Recomendaciones	Incluir calentamiento del depósito por energía solar. Incluir compostaje húmedo posterior externo.	Incluir separación de orina. Incluir lombrices al depósito de compostaje. Incluir compostaje externo.	Incluir separación de orina. Incluir lombrices al depósito de compostaje.	Sólo recomendable en situaciones de poco uso.	Usar bolsas biodegradables o papel biodegradable para facilitar el proceso de vaciado y limpieza del balde. Entierro de la masa fecal en la compostera externa.
Medidas de seguridad en el manejo de los productos	Guantes de goma y barbijo	Guantes de goma y barbijo	Guantes de goma y barbijo	Guantes de goma y barbijo	Guantes de goma y barbijo

Tabla 11
(continuación)

Conclusiones	Recomendable en clima seco y caliente. Se puede instalar en zonas periurbanas y urbanas, y en casas de varios pisos.	Ideal para familias grandes y áreas públicas de recreación. Se puede instalar en zonas periurbanas y urbanas. y en casas de varios pisos.	Ideal para familias grandes y áreas públicas de recreación. Se puede instalar en zonas periurbanas y urbanas.	Ideal para casas de campo y viviendas de una a dos personas. Restringido a personas con suficientes fondos para pagar la adquisición y la operación del sanitario.	Recomendable cuando existe suficiente espacio externo y suficiente material orgánico adicional para el compostaje. Ideal para la zona rural.

Fondo turquesa: ventajas de los sistemas.
Fondo lila: desventajas de los sistemas.

El libro de Del Porto & Steinfeld (2000) describe todos los sistemas comerciales y artesanales actualmente en uso, sus ventajas y desventajas, y provee consejos y trucos para su instalación y uso. Adicionalmente, se encuentra una lista de proveedores.

El *proceso de compostaje* es la tarea más crítica en la aplicación de esta tecnología. Para conseguir un producto final de alta calidad se tienen que observar varias condiciones. La masa siempre tiene que estar húmeda (contenido de *humedad* de aproximadamente 60%) sin que se vuelva pastosa. Eso se logra por la adición de material seco y poroso como aserrín, pasto y otro. Este material adicional también regula la *relación carbono-nitrógeno* (C:N). La masa fecal contiene mucho nitrógeno, especialmente cuando la orina también entra al sistema, lo que hace imprescindible una fuente de carbono para equilibrar la relación C:N y lograr un buen proceso de compostaje. *La tendencia actual en todos los tipos de sanitarios de compostaje es la separación de la orina.* La orina no contiene patógenos, pero percolando por el depósito puede arrastrar microorganismos infecciosos en este camino. Por otro lado, la humedad excesiva causada por la orina se debe contrarrestar con mucho material secante adicional y/o eliminar por evaporación forzada, lo que necesita energía. La *temperatura de compostaje* en los depósitos de los sanitarios generalmente es baja, por la entrada continua de material fresco y por el gran volumen de los depósitos (tipo 2 y 3). La higienización del material se logra por el tiempo largo de compostaje y el ambiente adverso a los requerimientos de los patógenos intestinales. Un aumento de temperatura se puede lograr por la exposición del depósito hacia el sol, una cubierta negra y colectores solares. (Lange & Otterpohl, 2000; Del Porto & Steinfeld, 2000).

Más fácil y más controlable es el *compostaje externo* del material en pilas de compost o en composteras. Se recomienda volcar la masa en decomposición una vez al año. El proceso de compostaje externo logra temperaturas más altas porque la masa se homogeneíza por el volcado, lo que favorece las bacterias termófilas.

Sobre el *tiempo ideal* del compostaje hay diferentes opiniones entre los expertos. Las recomendaciones varían entre uno y tres años. El proceso se puede

acelerar por la elevación de la temperatura en contenedores reguladores de humedad y temperatura, y también con la adición de lombrices rojas (ver capítulo IV, subtítulo 4.7.).

Por las dificultades de un buen control del proceso de compostaje, para países en desarrollo se recomiendan sobre todo los modelos de secado (Otterpohl & Oldenburg, 2007).

En el ambiente urbano, se puede imaginar la implementación de sanitarios de tamaño reducido del tipo 4 y 5. Los excrementos colectados en bolsas compostables o contenedores pequeños se pudieran recolectar separadamente por el sistema de aseo municipal, como los desechos orgánicos de la vivienda, llevándolos a una planta de compostaje o de biogás. (Lange & Otterpohl, 2000).

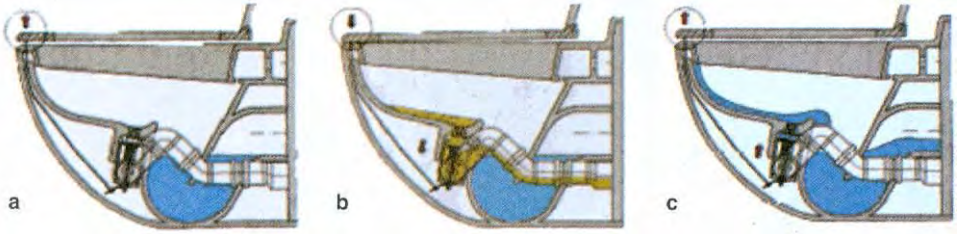
4.4. Inodoros separadores y urinarios sin agua

Inodoros separadores

En la bibliografía se reportan sistemas antiguos de separación de la orina y su reuso en sistemas tradicionales, como en el Yemen, además de muchos diseños históricos de inodoros separadores de orina (Otterpohl & Oldenburg, 2007).

Experiencias prácticas con inodoros separadores se tienen especialmente en Suecia, donde existen actualmente más de 3.000 instalaciones y muchos modelos diferentes (Otterpohl, 1999; Niederste-Hollenberg & Otterpohl, 2000). Pero también están avanzando en otros países. El programa Novaquatis del Instituto FAWAG, en Suiza, está estudiando el funcionamiento técnico y la aceptación de los sistemas *no mix* (sin mezcla de orina y heces) junto con los proveedores, además del almacenamiento, transporte y uso de la orina recolectada (Novaquatis, [s/f]; Lienert & Larsen, 2004).

Figura 33
Inodoro separador de orina, con barrido de agua, modelo industrial



a. *Inodoro sin uso:* La válvula del desagüe está cerrada.
b. *Uso del inodoro:* Al sentarse en el inodoro se activa un mecanismo que abre el desagüe de orina. La orina se drena por el desagüe separado.
c. *Barrido del inodoro:* Al ponerse de pie, el desagüe de orina se cierra. Si es necesario, se puede activar un flujo de agua en la parte trasera que lava heces y papel con diferentes volúmenes.
Fuente: <www.roevac.de>.

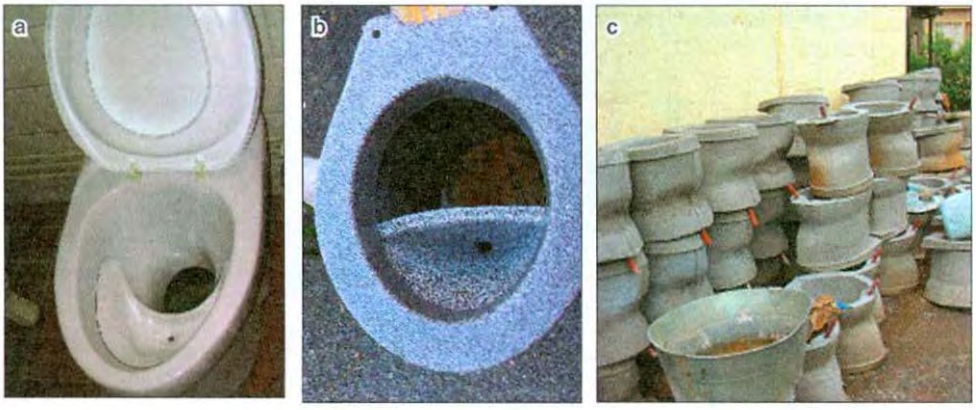
Un problema técnico de estos modelos industriales es que drenan la orina con cantidades mayores o menores de agua. Aunque se use una cantidad mínima para el barrido de la orina, eso causa a menudo incrustaciones y taponamientos en los tubos. Por otro lado, se necesitan grandes volúmenes de almacenamiento de la orina diluida. En el futuro, se debería pensar en sifones especiales para la salida de la orina semejantes a los desarrollados para los urinarios sin agua (ver abajo). Las heces también se drenan generalmente con uso de agua, pero existen algunos modelos que los recolectan en forma seca. (Otterpohl & Oldenburg, 2007).

Todavía no existen modelos industriales sin uso de agua y sólo recientemente se desarrollaron modelos que trabajan con vacío para minimizar la cantidad de agua usada en el barrido de las heces (Peter-Froehlich, com. pers., 2003). Los inodoros separadores de gravedad usan 0,1 litros a la vez para la orina y 6 litros para las heces. Si se usa papel después de orinar solamente, éste se barre en el compartimiento de heces con un botón separado que deja pasar sólo 3 litros de agua.

También existen incomodidades para el usuario. El papel usado siempre se tiene que verter al inodoro de heces y los hombres tienen que sentarse en el inodoro, también para orinar. En Europa, los hombres están cambiando sus costumbres en este sentido, pero también existe la posibilidad de instalar urinarios sin uso de agua.

Para los sanitarios de compostaje, en especial para los modelos de deshidratación, se desarrollaron varios tipos de inodoros separadores de distintos materiales. Se fabrican principalmente en China, México y Sudáfrica, pero también en cantidades menores en otros países.

Figura 34
Inodoros separadores simples para sistemas de desecación o compostaje, de diferentes materiales



a: inodoro de cerámica; b: inodoro de fibra de vidrio; c: inodoros de concreto.
Fuente: Werner *et al.*, 2003

Del Porto & Steinfeld (2000) recomiendan usar inodoros de compostaje con separación de orina para que ésta no entre en contacto con las heces, arrastrando fecales y patógenos. En este caso, la orina es libre de microorganismos dañinos y puede usarse, en una mezcla de 1:5 hasta 1:10 con agua, directamente y con más seguridad, para el riego de los árboles y arbustos.

Figura 35
Silla separadora de BERGER, Hamburgo. Se puede adaptar a distintos modelos de autoconstrucción

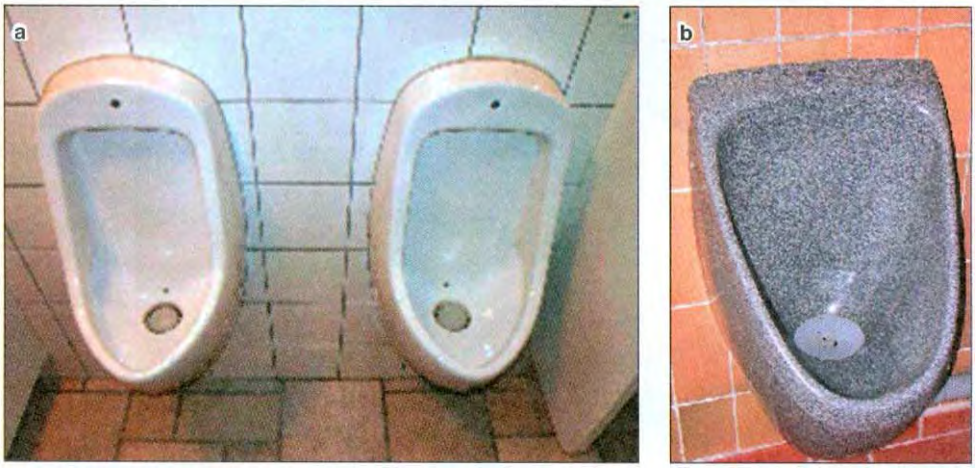
Foto: Margot Franken.

Urinarios sin agua

La tecnología no es nada nueva, ya que los primeros urinarios sin agua se patentaron y se aplicaron en la ciudad de Viena, Austria, en el año 1885. Se implementaron principalmente en los mingitorios públicos de Viena, por las capacidades insuficientes de suministro de agua a éstos. La idea consistía en un sifón provisto de un líquido más ligero que el agua (en este caso aceite), que flota sobre la orina y de esta manera forma un sellado contra los olores. Después de pocos años este tipo de sifón se distribuyó en casi toda Europa. En 1903 el inventor ya había establecido una red de provisión en 25 países con 30 contrapartes, con urinarios instalados en más de 300 ciudades. Uno de los socios importantes era un ingeniero suizo, Fritz Ernst, que actualmente es uno de los proveedores más grandes de urinarios sin agua en el mundo. Otras empresas han retomado la idea, y desarrollado y patentado sifones distintos. Existen ahora sifones verticales y horizontales, con líquidos selladores distintos, y también con selladores mecánicos contra el olor. (Lange & Otterpohl, 2000)

Actualmente, los urinarios sin agua se usan especialmente en Europa y Estados Unidos. Existen varios proveedores con diferentes modelos en cerámica y plástico reforzado con fibra de vidrio. Generalmente se prefieren los urinarios de fibra de vidrio en baños públicos muy frecuentados porque son resistentes al vandalismo, lo que se comprobó en los estadios de fútbol en Inglaterra.

Figura 36
Urinarios secos en baños públicos

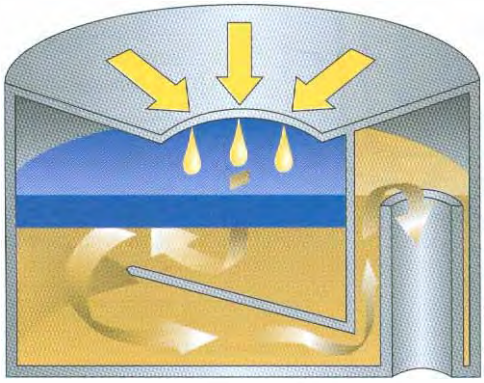


a: modelo de cerámica, Museo Lambertsmuehle, Alemania; b: modelo de fibra de vidrio, Museo Mon, Suecia.
Fuente: Werner *et al.*, 2003

Las superficies de los urinarios tienen distintos sellados especiales para impedir la adhesión de líquidos. Eso se logra en algunos modelos con un sellado antibacteriano en base a sustancias vegetales totalmente biodegradables, en otros se usa el efecto de la hoja de loto, descubierto en la Universidad de Bonn, Alemania. Se trata de una superficie sellada mediante nanotecnología con capas ultrafinas y microásperas, semejantes a las superficies de las hojas de loto, lo que las hace extremadamente hidrófobas y evita la adhesión de la suciedad. (<www.wasserlose-urinale.de>, <www.system-ernst.de> y <www.wupperinst.org/Faktor-Vier/praxisbeispiele/urinale-kurz.html> del Instituto Wuppertal para Clima, Medio Ambiente y Energía, Alemania).

De la superficie deslizante del urinario, la orina entra a un sifón, la parte más importante para el funcionamiento del sistema. En el sifón se encuentra un líquido sellador con poco peso específico, por el cual pasa la orina. El líquido no deja pasar los olores de la orina y queda en el sifón. Se trata de un líquido especial biodegradable, normalmente un alcohol graso. En algunos modelos el líquido se tiene que renovar, en otros se cambia el sifón aproximadamente cada 8.000 usos. El sifón es totalmente reciclable.

Figura 37
Sifón patentado de un urinario sin agua, con líquido sellador



Fuente: Sinaqua Waterless System GmbH.

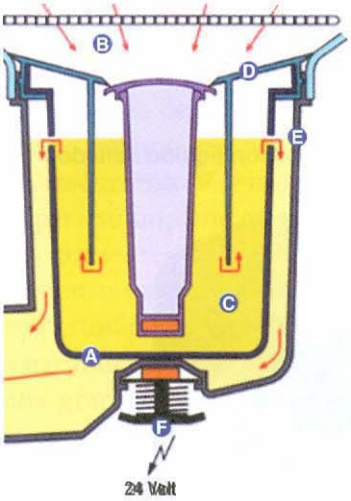
Algunos urinarios ya trabajan sin líquido sellador con un sifón especial que se abre y cierra automáticamente por un sensor e inducción electromagnética (figura 38).

Por las superficies especiales, la limpieza es más fácil. Algunos proveedores sólo recomiendan agua, otros venden su propio líquido para la limpieza. No se debe usar ni detergentes fuertes ni ambientadores para no cambiar el pH, lo que afecta el líquido de sellado. Detergentes con contenido de jabón pueden causar taponamiento. La orina pura inhibe el crecimiento de hongos y de la mayoría de las bacterias.

Figura 38
Urinario sin agua, con sifón de cierre mecánico, sin líquido sellador, de Urimat

Urinario de plástico:

1. Espacio para propaganda.
2. Sistema agarrador para urinarios de plástico y de cerámica.
3. Urinario de plástico (peso 5.2 kg). Urinario de cerámica (peso 19 kg).
4. Rejilla protectora de sumidero, desechable, de acero inoxidable o de plástico.
5. Sensor.



Silón sin líquido sellador:

A. El cierre patentado contra olores garantiza la operación sin sellador líquido. Se coloca en la apertura correspondiente del urinario.
B. La orina entra a la parte cilíndrica interior y luego al espacio de rebalse.
C. La orina empuja el flotador hacia arriba y cierra herméticamente la apertura de la entrada.
D. La goma aislante flexible no deja pasar olores.
E. Cuando la orina llega a cierto nivel, rebalsa y entra al alcantarillado.
F. Antes, durante y después de cada uso, un electromagneto de 24 V tira el flotador hacia abajo para dirigir la orina al sifón sin dejar residuos.

Fuente: <www.urimat.de>.

Las incrustaciones por la precipitación de sales en los tubos, típicas en urinarios convencionales, casi no se encuentran en urinarios secos porque se forman principalmente por la combinación de ácido úrico con el calcio y el magnesio presentes en el agua. Un estudio de largo tiempo en la ciudad de Nueva York ha comprobado que los tubos de desagüe no se ven afectados. Por otro lado, los investigadores suizos de Novaquatis (EAWAG, Zúrich) afirman que siempre existe algo de precipitación de sales y están trabajando en la solución del problema.

En instalaciones nuevas, la compra y el montaje de sistemas sin agua son más económicos en comparación con urinarios convencionales, y su vida útil de 15 a 25 años es similar a estos últimos.

En resumen, los urinarios secos:

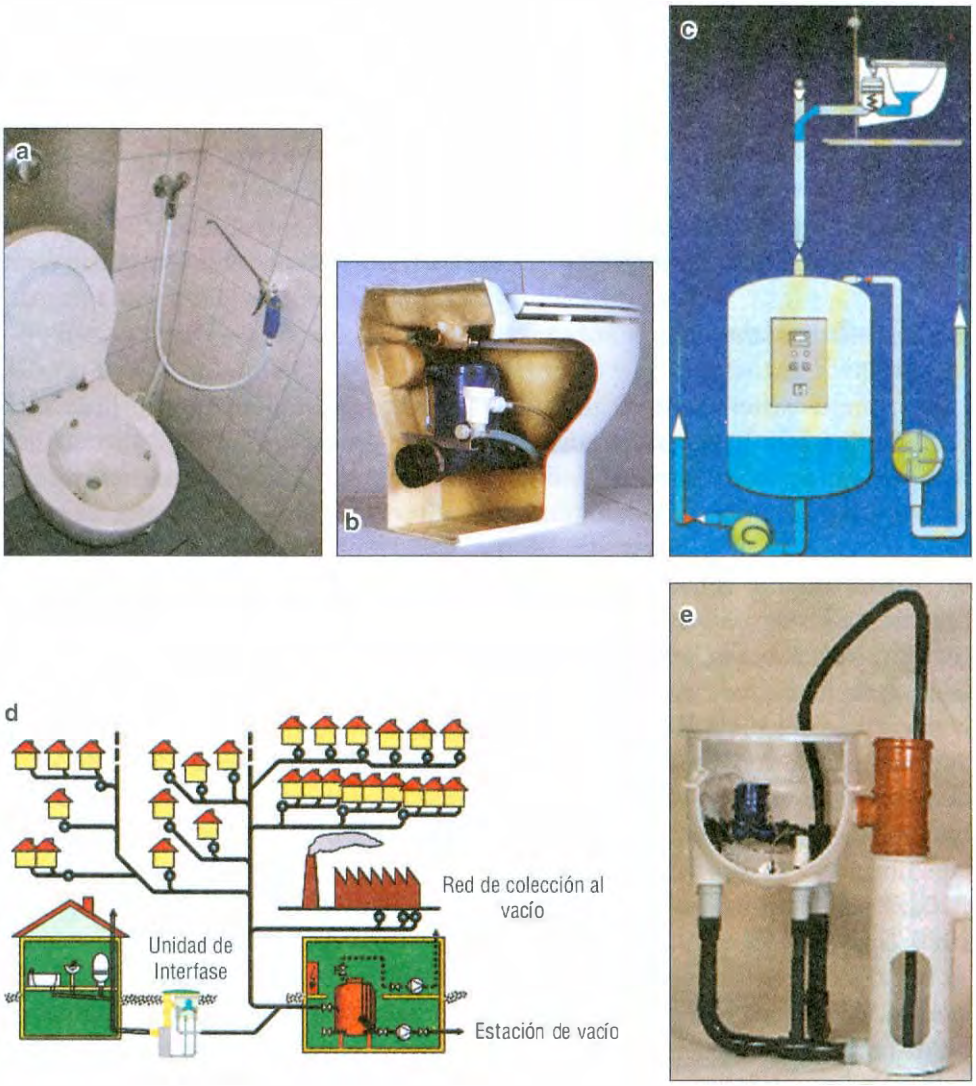
- *No usan agua (urinarios convencionales usan mínimamente 3 l a la vez).*
- *Son fáciles de limpiar, sin detergentes fuertes, por el menor crecimiento de bacterias.*
- *Son económicos (necesitan mucho menos mantenimiento).*
- *No producen contaminantes (la orina se puede usar como abono, se usa menos detergente).*
- *Son más higiénicos (trabajan sin tocarlos).*
- *Producen menos olores.*
- *Casi no se forman incrustaciones en los tubos.*
- *Son altamente atractivos para países en desarrollo y zonas con escasez de agua.*

4.5. Inodoros al vacío

Los primeros sistemas de alcantarillado al vacío se implementaron hace más de 100 años, por ejemplo, en Ámsterdam ya se usaban en 1843. El sistema usa una presión de vacío entre 380 y 500 mm de mercurio, y se aplica en terrenos planos o ligeramente ondulados con pequeños cambios de pendiente, en casos de nivel freático elevado y en suelos rocosos o inestables. La canalización por vacío actualmente representa un sistema establecido y de bajo costo para el drenaje de las aguas servidas, especialmente en zonas costeras planas y sobre suelos duros, rocosos, y arenosos. Se puede ahorrar hasta 50% de los costos en la implementación de las redes de tubos de alcantarillado instalándolos cerca de la superficie del suelo, además de usar tubos de menor diámetro. Las redes se autolimpian, se autocontrola su impermeabilidad y así garantizan la protección de los suelos y las aguas subterráneas. No se bloquean y no hay necesidad de barridos de limpieza con agua. Además se pueden poner tubos de drenaje y tubos de suministro de agua potable, y/o otros sistemas de suministro en el mismo canal, lo que permite el ahorro de costos adicionales. (Crites & Tschobanoglous, 2000; Spaeth & Zang, 2002).

Sistemas sanitarios al vacío se implementan en barcos, aviones, trenes, viviendas y también en hospitales. Los sistemas son establecidos en forma general desde hace varios decenios, son técnicamente maduros y también son aplicables en países de desarrollo. Su implementación es costosa, por las estaciones de vacío principalmente, y su mantenimiento requiere de personal altamente capacitado; pero en ciertas situaciones pueden resultar más económicos que los sistemas de alcantarillado convencionales. Se tiene que subrayar que estos sistemas funcionan sin disminución ni de la higiene, ni la comodidad, ni la estética. Su gran ventaja es la reducción del uso de agua y la reducción de costos en el tratamiento de aguas servidas, por las posibilidades ofrecidas de tratamiento separado en plantas de biogás, con generación de abono y energía. A nivel de urbanizaciones, los lodos generados por el digestor o la masa fecal fresca se pueden descomponer junto con los desechos orgánicos de cocina y jardín. (Spaeth & Zang, 2002).

Figura 39
Sistemas al vacío



a: inodoro al vacío; b: interior de un inodoro al vacío; c: sistema al vacío; d: red de alcantarillado al vacío; e: unidad de interfase.
Fuente: <www.roevac.de>.

Como novedad mundial, en el proyecto piloto Stahnsdorf de la Empresa de agua de Berlín, Alemania, se implementaron los primeros inodoros separadores con sistema de vacío (Peter-Froehlich, com.pers., 2003; ver también capítulo VIII, subtítulo 1.1.8).

Tabla 12
Comparación del consumo diario de agua en inodoros

Sistema	Consumo
Inodoro al vacío	6 litros por día y persona
Inodoro separador de gravedad	15 litros por día y persona
Inodoro convencional con botón interruptor	25 - 40 litros por día y persona
Inodoro convencional sin botón interruptor	hasta 50 litros por día y persona

Fuente: Peter-Froehlich *et al.*, 2003 a.

4.6. Uso de la orina

La orina representa sólo 1% del volumen de las aguas servidas, pero contiene la mayoría de los nutrientes como compuestos nitrogenados, principalmente urea, compuestos fosfatados, e iones de potasio y magnesio. Por este motivo es un abono líquido excelente. Su uso significa además disminuir las descargas hacia los cuerpos de agua en forma significativa, disminuyendo drásticamente su eutrofización. Una gran ventaja de las aguas amarillas, comparada con otros fertilizantes inclusive lodos de purificación, es su pobreza en metales pesados en comparación con otras fracciones de aguas servidas domésticas y en comparación con fertilizantes minerales (Oldenburg *et al.*, 2004; Vinneras *et al.*, 2004). Su riesgo higiénico es mínimo.

El riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por la orina depende mayormente de una contaminación accidental con heces. La mayoría de los patógenos se desactiva en corto tiempo, dependiendo de la temperatura. Los patógenos más resistentes son los rotavirus. Por este motivo se recomienda almacenar la orina por varios meses, especialmente en la horticultura y en sistemas de reuso a gran escala. (Hoeglund, 2001; Otterpohl & Oldenburg, 2007).

La orina es un fertilizante de acción rápida, rica en nitrógeno y con una composición de nutrientes muy adecuada para la mayoría de las plantas comestibles. En cereales se observó un efecto de nitrógeno de 90% y de fósforo de 100%, comparado con fertilizantes químicos (Black, 2002). La orina y la materia fecal se complementan bien porque los residuos fecales actúan más lentamente, y son ricos en fósforo y potasio. Además, los residuos fecales contienen materia orgánica, lo que incrementa su capacidad amortiguadora y mejora la estructura del suelo (Vinneras *et al.*, 2004).

Se puede usar la orina de forma diluida directamente en la fertilización de plantas comestibles y ornamentales, lo que es la mejor técnica para el propietario de huertas y jardines suficientemente grandes, en los alrededores de la vivienda. El requerimiento de fertilizante depende del suelo y de la planta cultivada, pero como regla aproximada se puede aplicar la cantidad de orina producida por una persona en el día a un metro cuadrado, es decir 1,5 l/m^2, lo que corresponde a 40 a 80 kg N/ha. Su efecto es mejor en plantas que demandan altas dosis de nitrógeno, por ejemplo maíz. Es recomendable aplicar la orina al suelo antes o

durante el sembrado, y máximo hasta dos tercios del periodo entre siembra y cosecha. Si la capacidad de almacenamiento de la orina es insuficiente, se puede usarla para árboles y arbustos, o se puede incorporarla en el suelo durante la época seca, también se puede aplicar directamente a praderas. (Vinneras *et al.*, 2004; Otterpohl & Oldenburg, 2007).

Otra posibilidad de uso, especialmente en espacios reducidos, es su aplicación a la pila de compost para mejorar el proceso de compostaje y la relación carbono-nitrógeno en el producto final, lo que no debería ser mayor a 20:1. Mayor cantidad de orina, temperaturas altas y menos remoción resultan en menores relaciones carbono-nitrógeno y una mejor textura (Pinsem & Vinneras, 2004). En la agricultura urbana se la recomienda en sistemas organopónicos, donde una capa de material orgánico no descompuesto, como hojarasca y paja, se inocula con orina para su descomposición rápida, mientras se siembran las hortalizas en una capa delgada de tierra encima de esta mezcla (Arroyo, 2003) (ver estudio de caso de México, capítulo VIII, subtítulo 2.2.4.).

En áreas densamente pobladas y en urbanizaciones, las aguas amarillas se pueden recolectar en grandes depósitos aireados y transportar por camiones a los usuarios agricultores en la vecindad (ver estudios de caso, capítulo VIII, subtítulo 1.1.).

En estos casos, la orina en los depósitos de recolección y almacenamiento generalmente se estabiliza con ácido acético (Novaquatis, [s/f]; Lange & Otterpohl, 2000), ácido sulfúrico (Oldenburg *et al.*, 2004) o ácido clorhídrico (Simons & Clemens, 2004). La acidificación no deja sobrevivir microorganismos patógenos existentes y reduce la pérdida de amonio, aunque estudios en un proyecto modelo en Alemania han mostrado que la pérdida de nitrógeno es mínima durante un periodo de cuatro meses, con y sin acidificación (Oldenburg *et al.*, 2004). El ácido sulfúrico mejora la entrada de sulfuro al suelo (Oldenburg *et al.*, 2004). En caso de uso de ácido clorhídrico, la orina no se debe usar en exceso para evitar daños en las plantas por altos contenidos de cloruro de sodio y se recomienda la mezcla de la orina con excrementos animales, los que tienen alta capacidad de amortiguación. (Simons & Clemens, 2004).

Para evitar pérdidas de nitrógeno en forma de amonio también el método de aplicación en el terreno agrícola es importante. El líquido tiene que ser introducido al suelo lo más rápido posible. El mejor método es probablemente la aplicación en surcos o huecos, que luego son cubiertos inmediatamente. (Joensson, 2004 a, b).

Mediante la acidificación de la orina, es posible incrementar la degradación de residuos farmacéuticos y hormonas presentes en ella. (Oldenburg *et al.*, 2004). La separación local de la orina evita la dispersión amplia de estas sustancias.

En el transporte de la orina también se discute la posibilidad de usar la red de alcantarillado existente, en horas nocturnas de flujo mínimo, para llevar las aguas amarillas a las plantas de tratamiento de aguas servidas, donde se procesarán

de forma separada para su reuso, lo que implica poca contaminación por otras aguas servidas (Novaquatis, [s/f]). Aun si la orina no se usara, el sistema tiene grandes ventajas ecológicas por evitar la entrada de los nutrientes contenidos en la orina a los cuerpos de agua.

En la agricultura, la orina también se puede usar en forma líquida, pero por los costos de transporte sería mejor la producción de concentrados de orina o su desecación completa. Existen varios métodos de concentración de la orina. Lo más fácil es la evaporación del líquido. En este caso, la acidificación también es importante para evitar la pérdida de amonio (Niederste-Hollenberg *et al.*, 2004). Otro método de concentración es la congelación. Como indicador de la concentración de minerales y nutrientes en la solución se usa la medición de su conductividad eléctrica (Gulyas, 2000).

Actualmente se desarrollan varios procedimientos de estabilización de la orina, de recuperación de los nutrientes, y de eliminación de microcontaminantes como productos farmacéuticos y pseudohormonas. Se estudian metodologías distintas, procesos biológicos (por ejemplo, reactores de biofilm), procesos químicos (por ejemplo, la precipitación en reactores de lecho fluyente) y procesos físicos (por ejemplo, metodología de membrana) (Novaquatis, [s/f]).

En Suecia se recomienda, para recuperar el fósforo, la precipitación de la estruvita $Mg(K,NH_4)(PO_4)x6H_2O$ con ayuda de óxido de magnesio MgO y la absorción de nutrientes nitrogenados a zeolita. Ambos, la estruvita y las zeolitas cargadas con amonio, se conocen bien como fertilizantes de liberación lenta. La combinación óptima de MgO y zeolita para la recuperación combinada de P y N es de 0,5 g Mg y 15 a 30 g de zeolita por litro de orina. (Adamsson *et al.*, 2004).

También se tiene pensado el uso de la orina en el ámbito medicinal.

4.7. Vermicompostaje

En Australia se desarrolló un sistema de vermicompostaje para retretes ecológicos de compostaje continuo tipo Dowmus (Ho *et al.*, 2003). La mayoría de las especies de lombrices son capaces de trabajar, si el material orgánico tiene un contenido de humedad de 70 a 80%, la temperatura está debajo de 35° C y el pH oscila entre 6,5 y 7,5 (Gajurel *et al.*, 2004).

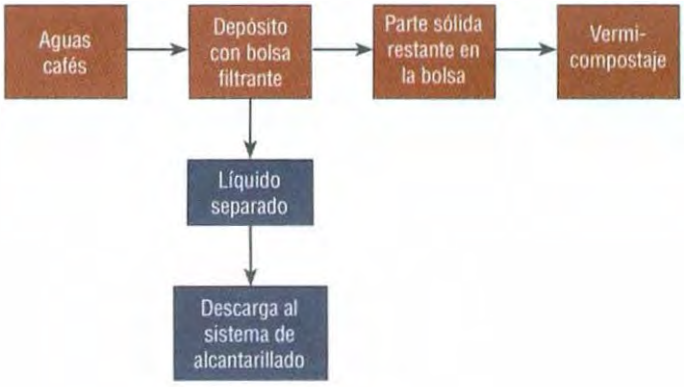
Actualmente se investiga la aplicabilidad del vermicompostaje a la masa fecal pura. En la Universidad Técnica de Hamburg-Harburg se realizan los primeros experimentos con lombrices de las especies *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, en el compostaje directo de heces, sin precompostaje y sin adición de otros materiales.

En estudios preliminares se ha visto que la masa fecal fresca sin aditivos se descompone por las lombrices en pocos meses a compost maduro. Se puede aplicar este método directamente a heces provenientes de inodoros separadores con barrido de agua después del escurrimiento del líquido. Las lombrices

descomponen la masa más rápidamente y ayudan significativamente en su higienización. (Shalabi *et al.*, 2003).

En base a estas observaciones se realiza un proyecto para investigar los factores importantes con más detalle. Para este fin se instaló un sistema de tratamiento de la masa fecal debajo de los retretes de hombres que usan urinarios, evitando de esta manera el ingreso de grandes volúmenes de orina a la masa fecal, lo que tendría efecto negativo en las lombrices. Las aguas cafés entran primero a un depósito preliminar, pasan luego por otra cámara provista de una bolsa filtrante (*rottebehaelter*) para la separación de la masa fecal del agua de barrido. Cuando una bolsa está llena, la entrada de las aguas cafés pasa a otro depósito con bolsa filtrante y en el primero se inoculan las lombrices, en una relación de 1.000 lombrices por 40 kg de masa fecal más el papel usado en la higiene. La humedad se mantiene en 75 a 85%. Se obtenían buenos resultados a temperaturas mayores de 18° C. (Shalabi *et al.*, 2003; Otterpohl & Oldenburg, 2007).

Figura 40
Sistema de descomposición de heces en la Universidad Técnica Hamburg-Harburg



Basado en Shalabi *et al.*, 2003.

Adicionalmente a la descomposición, se realizan ensayos en laboratorio con diferentes niveles de humedad y diferentes temperaturas para investigar el ambiente óptimo de las lombrices.

Figura 41
Instalación de vermicompostaje en la Universidad Técnica Hamburg-Harburg, con su investigador

Foto: Margot Franken.

V

Potabilización de agua en el hogar

No podemos darnos el lujo de esperar grandes inversiones en infraestructura para brindar agua segura. No tiene sentido y no es aceptable ignorar las prioridades de los más necesitados.
(Dra. Gro Harlem Brundtland, ex Directora General de la OMS)

A escala mundial, la mayoría de las viviendas se abastece todavía por sus fuentes propias. (Scheele & Malz, 2007a).

Principalmente, hay dos fuentes de agua disponibles a nivel de vivienda, agua de pozo y agua de lluvia. Estas fuentes de agua tienen de principio buena calidad, así que generalmente pueden ser potabilizadas con técnicas simples.

En la *construcción de pozos* se debe procurar su protección contra la entrada de contaminantes con una tapa adecuada y garantizar que no haya filtraciones de letrinas o pozos sépticos en los alrededores.

Si se quiere usar *agua pluvial* recolectada en el techo como agua potable, el material del techo no debe desprender tóxicos al agua, es decir, se excluyen techos de cualquier tipo de metal.

Para el *agua potable* existen normas estrictas que regulan su calidad (ver reglamentos de la OMS y otros nacionales). El agua para el consumo humano tiene que ser neutra, no debe pasar de cierta salinidad, no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias tóxicas.

El *agua de servicio*, como puede ser de menor calidad, siempre se puede generar de forma descentralizada y debería siempre separarse del agua potable. Se recomienda instalar todos los tubos en forma abierta y visible, para su mejor control y mantenimiento. Este procedimiento es más económico y ofrece nuevas posibilidades de diseño.

Se tiene muchas posibilidades de *diseño* de los *sistemas de tratamiento*, imitando procesos naturales con estanques, cascadas, canales abiertos, plantas, peces y obras de arte, incluyendo también los elementos técnicos como filtros, tubos, bombas etc. De esta manera, los elementos técnicos se integran en la estructura

arquitectónica, lo que posibilita una nueva estética referida al agua y su valor. (Krusche *et al.*, 1982; <www.dreiseitl.de>).

Todos los ingredientes del ciclo de agua (tubos, bombas, depósitos, agua caliente) y las otras instalaciones técnicas (calentadores eléctricos, colectores, máquinas de fuerza) deberían ubicarse cerca de la cocina y los baños, aislados de otras partes de la vivienda, de manera que la dinámica humana y la dinámica mecánica y eléctrica se correspondan.

Los *procesos usados en la potabilización* son: autopurificación biológica, filtración y desinfección.

La selección y combinación de los tipos de procedimientos dependen de la calidad del agua cruda. La mayor parte del agua propia se puede potabilizar sin equipos caros. La ventaja está en el manejo de cantidades mínimas. Del agua de consumo, sólo 5 litros diarios por persona tienen que tener la calidad máxima de agua potable. Si se aumenta a eso la cantidad necesaria para el lavado de vajilla, se llega a 15 litros por persona y día. Para otros usos se necesita sólo calidad de agua de servicio.

Autopurificación biológica

El proceso de autopurificación es el proceso natural más importante dentro de los cuerpos de agua. Se basa en que los organismos acuáticos; bacterias y otros microorganismos descomponen los poluentes orgánicos, las algas y plantas superiores usan los nutrientes liberados y producen oxígeno por fotosíntesis. Sobre estos procesos se puede establecer la cadena trófica superior, cuyo final forman los peces y las aves acuáticas. Aparte de la purificación biológica, se retienen los sólidos y se realizan procesos químicos de oxidación y reducción. (Krusche *et al.*, 1982).

Las lagunas de autopurificación o humedales artificiales (ver capítulo VI, subtítulo 2.2.2.) se pueden usar como pretratamiento para la potabilización del agua o para el tratamiento de las aguas servidas. De este modo se logra adicionalmente un efecto paisajístico positivo para la urbanización y los jardines.

Si es necesario, se puede aumentar el tiempo de retención del agua en los sistemas biológicos, mucho más largo de lo que es posible en sistemas técnicos grandes. (Krusche *et al.*, 1982). Para agua cruda de buena calidad, no es necesario un pretratamiento biológico.

Suelo y plantas también constituyen un buen sistema de purificación biológica aplicable por ejemplo mediante un techo verde (ver figura 44).

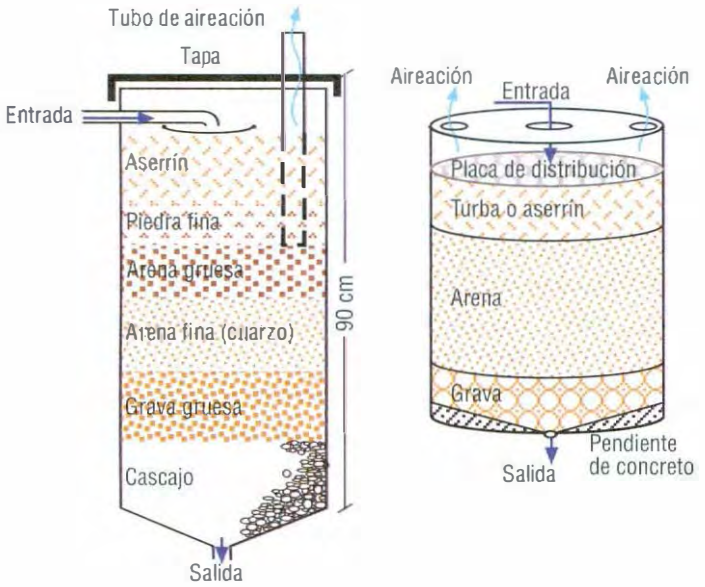
Filtración

En los filtros mecánicos se separan las suspensiones del agua. El substrato del filtro, por el cual pasa el agua cruda, se debe renovar o limpiar regularmente. Los

intervalos dependen del caudal y del volumen del filtro. Filtros finos retienen mejor las suspensiones y microorganismos.

Los filtros artificiales tienen varias capas: grava (para la filtración gruesa), arena gruesa y arena fina, y otros materiales adicionales como viruta de madera, turba y carbón vegetal, según necesidad. Los materiales se pueden ordenar por capas en dirección del flujo de agua, o se puede separarlos en un sistema de contenedores, para poder cambiarlos de manera más fácil.

Figura 42
Filtros simples de varias capas



Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

Las aguas alcalinas o ácidas tienen que ser neutralizadas. La forma más económica es una neutralización por introducción de materiales adicionales a los filtros, por ejemplo, turba para aguas alcalinas y caliza para aguas ácidas. Si se quiere usar agua pluvial, nieve o agua condensada como agua potable, se pueden adicionar mezclas minerales en la dosificación adecuada. (Krusche *et al.*, 1982).

Los filtros deberían ser implementados en un ambiente fresco, bien aireado y limpio. (Krusche *et al.*, 1982).

Estos procesos son suficientes para la calidad de agua de servicio. Generalmente también cumplen con los requerimientos de agua potable. Sólo si el agua contiene microorganismos patógenos se necesitan medidas de desinfección, porque los patógenos no se retienen en su totalidad por los filtros.

Desinfección

En general, el agua natural es mejor para el consumo. Si el agua cruda es de buena calidad, no es necesaria la aplicación de medidas adicionales.

En caso de riesgo por gérmenes patógenos, se pueden usar varios métodos de higienización:

- Cloración
- Ozonización
- Radiación UV
- Filtración por membranas
- Desinfección térmica

Tradicionalmente, en los sistemas convencionales, se usa la *cloración* para garantizar la eliminación total de posibles microorganismos patógenos y evitar su desarrollo secundario en la red de distribución. El cloro libre induce alteraciones de estructura por oxidaciones en las membranas celulares y por ende altera el transporte de sustancias, lo que lleva a la muerte de los organismos. Se trata de un método simple y barato, pero no se recomienda por la toxicidad del cloro libre, la posible formación de sustancias clororgánicas cancerígenas, así como el mal olor y sabor del agua. (Popp, 2001).

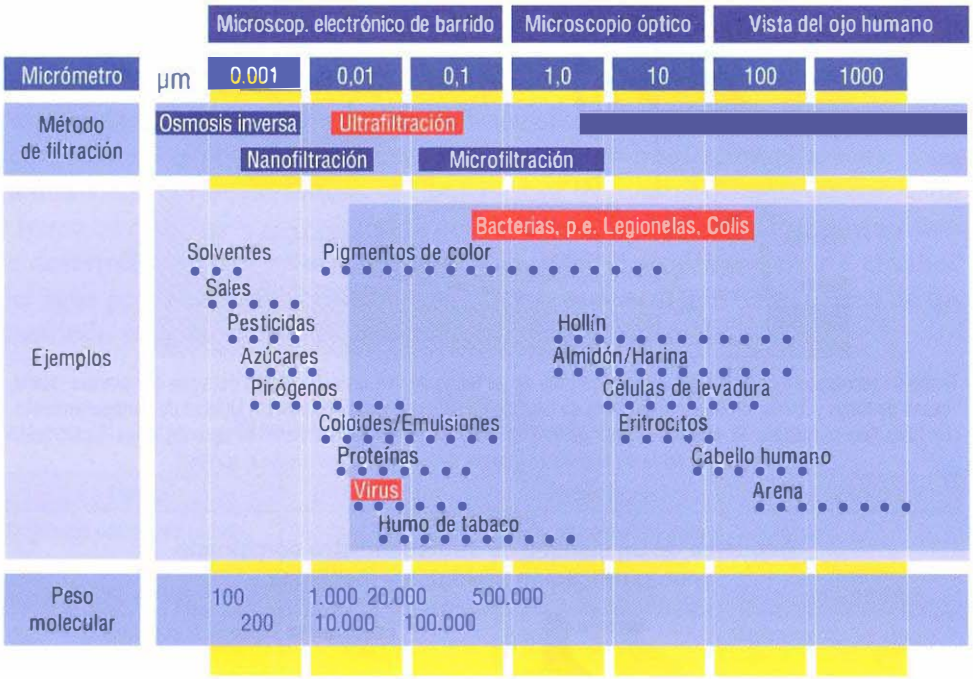
La *ozonización* tiene efectos sobre los microorganismos similares a la cloración. Dependiendo de las sustancias presentes en el agua cruda, se pueden formar radicales libres dañinos para la salud. La generación de ozono es relativamente cara y necesita medidas de seguridad. (Popp, 2001).

La *irradiación ultravioleta* actualmente se usa frecuentemente en la desinfección del agua (Popp, 2001) y su aplicación es el estándar técnico en el reciclaje de aguas grises y el uso de aguas pluviales a nivel de vivienda.

Para cantidades menores de agua se pueden usar filtros de membrana, los que se aplican como filtro adicional, sólo para la cantidad necesaria de agua con calidad de agua potable. *Membranas de ultrafiltración* y *ósmosis inversa* se usan en el tratamiento de agua potable. La ósmosis inversa se aplica en casos de presencia de sales indeseadas y contaminantes.

La *esterilización térmica* se basa en la afectación de los microorganismos por calor elevado y se usa en muchas aplicaciones. Por su alto consumo de energía sólo se puede aplicar a pequeñas cantidades de agua. Un hervor de media hora es suficiente para destruir todos los agentes patógenos. También se puede esterilizar el agua mediante la irradiación solar, por el método SODIS, o en cocinas solares simples, que combinan la esterilización térmica con la irradiación por rayos ultravioletas (ver subtítulo 2. de este capítulo).

Figura 43
Métodos de filtración y su efectividad



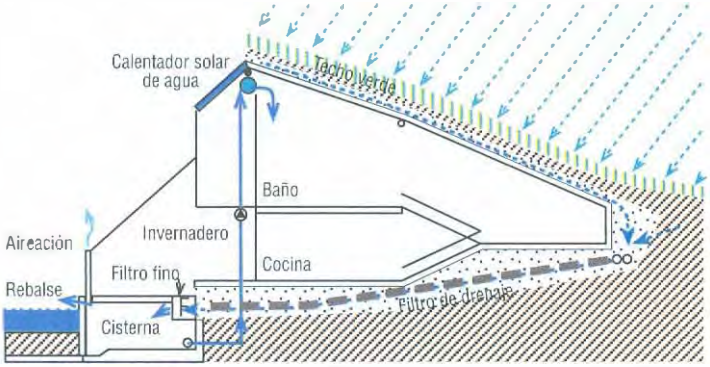
Fuente: <www.legio.de>.

Instalaciones, uso y diseño

Se recomienda el bombeo del agua a un tanque elevado con flotador, para usar la gravedad en la distribución. Si se usa una bomba de viento, se tiene que tomar en cuenta un mayor volumen del tanque para amortiguar los tiempos de calma. Los almacenes para agua potable tienen que tener sólo el volumen necesario y los tubos de agua potable deberían ser lo más cortos posible. Por este motivo no se recomienda sistemas compartidos grandes. (Krusche *et al.*, 1982).

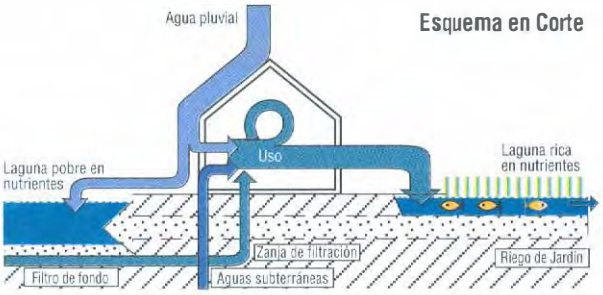
El dimensionamiento correcto es muy importante para garantizar la provisión de agua fresca y evitar el crecimiento de microorganismos en el sistema de almacenamiento y distribución.

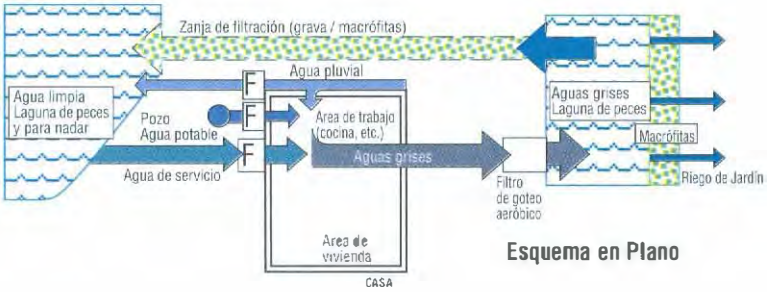
Figura 44
Techo verde para purificación de aguas pluviales



Techo de recolección de aguas pluviales, en forma de un techo de vertiente. Filtración del agua por plantas, suelo, capas de turba y arena, drenaje por un filtro de cascajo de calizas y arena de cuarzo. Unidad de almacenamiento con filtro fino cambiable. El sistema integral genera agua fresca de vertiente a partir de agua de lluvia. La filtración tiene que ser lenta en superficie grande. Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

Figura 45
Esquema de un sistema de autosuministro combinado con purificación biológica y mecánica





Suministro por agua pluvial, agua subterránea y laguna de agua dulce. Las aguas servidas entran (sin residuos fecales) por un filtro aeróbico a una laguna aeróbica (para riego del jardín), luego las aguas pasan por una acequia filtrante (eventualmente con plantas emergentes, por ejemplo, carrizos o juncos) a una laguna de agua pluvial, como sistema natural de reciclaje. El sistema provee grandes cantidades de agua para múltiples usos. El agua está retenida largo tiempo en las lagunas; los peces y las plantas indican la calidad del agua y pueden también utilizarse en la alimentación, como forraje y para compostaje. Dibujo basado en Krusche *et al.*, 1982.

1. Métodos tradicionales de tratamiento de agua potable en países tropicales

La percepción de que las aguas transparentes con olor y sabor agradables son saludables, mientras que las aguas turbias y de olor desagradable pueden causar enfermedades, parece haber existido desde siempre en la humanidad. Por las condiciones ambientales extremas de las zonas tropicales, muchas veces con cambios estacionales drásticos, se tiene escasez de fuentes de agua transparente y fresca en muchas de esas regiones, por lo menos parte del año. Por este motivo se desarrolló un sinfín de métodos para mejorar el aspecto, el olor y el sabor del agua potable. Aunque muchos de estos métodos tradicionales parten de un trasfondo religioso, también tienen efecto sobre la calidad del agua.

Tabla 13
Plantas usadas en la purificación de aguas

Planta	Región	Partes usadas	Acción
Strychnos potatorum (árbol)	Sud Asia	Pasta de pepas del fruto molidas en una piedra	Coagulación y Clarificación
Acacia catechu (árbol)	Sud Asia	Corteza	Mejoramiento del sabor
Vetiveria zizanoides y V. nigritana (gramínea)	Sud Asia	Raíces	Mejoramiento del sabor
Eletteria cardamomum (especia)	Sud Asia	Semillas quebradas	Coagulación y clarificación
Banksia sp. (árbol)	Australia	Flores	Mejoramiento del sabor
Juniperus oxycedrus (árbol)	África norte	Alquitrán producido de la madera	Mejoramiento del sabor, desinfección
Vicia faba (haba)	África	Fruto	Coagulación y clarificación
Arachis hypogaea (maní)	África	Fruto	Coagulación y clarificación
Moringa oleifera (árbol)	África	Semillas	Coagulación y clarificación
Boscia senegalensis (árbol)	África	Corteza, hojas, ramitas	Coagulación y clarificación
Acacia nilotica (árbol)	África	Polvo de las vainas	Desinfección
Carica papaya (papaya)	África, Asia, Latinoamérica	Jugo del fruto verde	Coagulación y clarificación para agua de lavado de ropa
Opuntia ficus indica (tuna)	Latinoamérica	Jugo de las pencas	Coagulación y clarificación
Zea mays (maíz)	Latinoamérica	Granos tostados y pulverizados (pitu)	Coagulación y clarificación de agua, durante viajes largos en embarcación

Basado en Jahn, 1981.

Se puede diferenciar medidas de clarificación por decantación y filtración mécanica del agua, purificación por almacenamiento, coagulación con limos

especiales y/o preparados de plantas, el uso de plantas medicinales específicas y el calentamiento para la desinfección del agua. También, a veces, se seleccionan los sitios de recolección de agua cruda, por ejemplo, usando fuentes de agua cercanas a cierto tipo de vegetación purificadora, como *Cyperus* y *Typha*, o excavando pozos someros al lado de ríos turbios para conseguir agua filtrada. (Jahn, 1981).

En algunos países andinos se realizaron investigaciones científicas sobre la eficacia del jugo de la cactácea *Opuntia ficus indica*, como sustituto del alumbre usado como coagulante en las plantas convencionales de potabilización.

De los métodos tradicionales mencionados, Jahn (1981) recomienda los siguientes:

- *Almacenamiento* del agua purificada en recipientes de cerámica.
- Provisión de un *stock de materiales de purificación* para la época de lluvias, por ejemplo, limo seco y plantas.
- *Cultivo de plantas útiles* para la purificación del agua, por ejemplo *Faba vulgaris* (*Vicia faba*), *Opuntia ficus indica*.
- *Coagulación y decantación* de sólidos suspendidos con limo y/o plantas.
- *Filtración* del agua decantada por telas o filtros de arena.
- *Calentamiento* del agua pretratada, con energía solar o hervor, eventualmente adicionando plantas con acción bactericida.

2. Desinfección solar del agua

En los países en desarrollo, gran parte de la población no tiene acceso a agua potable segura y menos a sistemas sanitarios. Por este motivo proliferan las enfermedades hídricas como la fiebre tifoidea, el cólera y otros. Sin embargo, en la mayoría de las regiones más afectadas, la radiación solar es una fuente abundante de energía. La desinfección del agua de consumo directo mediante irradiación solar es un método accesible a todos, por sus bajos costos.

2.1. Desinfección solar del agua por el método SODIS

El sistema consiste en botellas de vidrio o plástico transparente que se exponen al sol por un mínimo de cinco horas, desde la mañana hasta la tarde. El efecto es mucho mayor si las botellas se colocan sobre una superficie de material reflexivo, como por ejemplo una lámina de aluminio o zinc (Saladin, com. pers., 2005) inclinada hacia el sol. Por la exposición a la radiación solar, se pueden desactivar y destruir organismos patógenos presentes en el agua. SODIS es usado a nivel doméstico para tratar pequeñas cantidades de agua destinada al consumo humano. El método desarrollado e investigado por EAWAG/SANDEC (Suiza) desde 1991, actualmente se difunde en más de 20 países en desarrollo, entre ellos ocho países

en América Latina (Bolivia, Brasil, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Perú). (EAWAG, 2003; Saladin, com. pers., 2005).

Durante la exposición de las botellas al sol, otras bacterias inocuas, a veces presentes en el agua cruda, crecen bien. Por eso se tiene que utilizar parámetros adecuados para evaluar la eficiencia de SODIS, por ejemplo los "coliformes fecales", y no "coliformes totales" o recuentos de "bacterias totales". Se tiene que tomar en cuenta que el método SODIS no produce agua estéril, porque el agua potable no tiene que ser estéril. Para agua de consumo humano se estableció un límite hasta de 100 bacterias (unidades formadoras de colonias por 100 ml), para asegurar que no crezcan algas u otros microorganismos en los tubos de abastecimiento. El límite para coliformes fecales, establecido por la OMS, es de cero unidades formadoras de colonias en 100 ml de agua (EAWAG/SANDEC, 2003).

El agua tratada por el método SODIS generalmente cumple estas normas, sólo si el agua está muy contaminada o si se aplica de forma incorrecta este método no alcanza a 0 UFC/100ml de coliformes fecales.

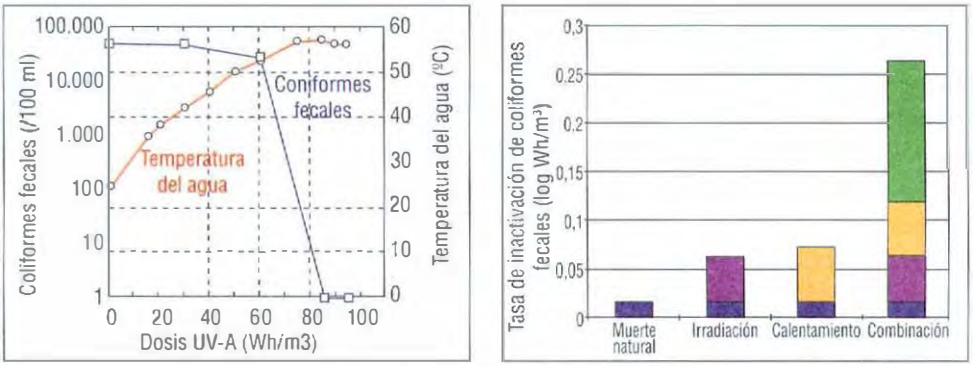
Se ha demostrado que bacterias patógenas y viruses se destruyen por el método SODIS. Entre estos se pueden citar los siguientes (<www.sodis.ch>):

- Bacterias: *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhii*, *Salmonella enteriditis*, *Salmonella paratyphii*.
- Virus: *Bacteriófago f2*, *Rotavirus*, *Encephalomyocarditis virus*.
- Levaduras y mohos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*.

La desactivación de organismos formadores de esporas y quistes, como protozoarios y helmintos por desinfección solar, todavía no se ha estudiado sistemáticamente. Los quistes de amebas se mueren a partir de 50° C. En general se necesita entre 50° C y 60° C durante una hora de exposición para desinfectar el agua. El agua en las botellas expuestas generalmente sólo alcanza alrededor de 40° C, pero por el método SODIS los efectos de temperatura y radiación UV se multiplican por la acción sinérgica de estos dos factores. (EAWAG/SANDEC, 2003; Encinas *et al.*, 2002, <www.sodis.ch>).

A una temperatura de 30° C se requiere una dosis de 555 Wh/m^2 (con una longitud de onda de 350 - 450 nm, es decir, una dosis correspondiente a seis horas de exposición al sol en el verano de latitudes medias) para lograr una reducción de los coliformes fecales por tres logaritmos. En estas condiciones sólo se presenta el efecto de la luz UV. Con la presencia de dos factores adversos, luz UV y altas temperaturas, la muerte de los coliformes fecales aumenta significativamente. A temperaturas de 50° C se observa un efecto sinérgico de la luz UV y el calor, logrando una reducción por tres logaritmos ya por una dosis de 140 Wh/m^2, lo que equivale a un tiempo de exposición de sólo una hora bajo las mismas condiciones de radiación descritas arriba. (EAWAG/SANDEC, 2003).

Figura 46
Efectos sinérgicos de la desinfección solar SODIS en microorganismos patógenos



Fuente: EAWAG/SANDEC 2003.

Experiencias en Ecuador han comprobado la alta reducción de enfermedades diarreicas en niños, por la aplicación del método SODIS. Si la aplicación de la desinfección solar se combina con buenas prácticas de higiene, como el lavado de manos, el efecto se incrementa significativamente a un 64%, entre el estudio inicial hacia el final de la intervención de 52 semanas. (Cifuentes *et al.*, 2007).

El uso de botellas de plástico PET se criticó por su contenido de plastificantes que pueden entrar al agua durante la exposición al sol, por las temperaturas elevadas y la irradiación fuerte que liberan estas sustancias del material plástico y causan su entrada al agua. Durante experimentos llevados a cabo por EAWAG/SANDEC y EMPA (Eidgenoessische Material-Pruefungs-Anstalt) se observó que estas sustancias orgánicas dañinas se diluyen en el agua en cantidades mínimas muy debajo de los límites permisibles establecidos por la OMS para agua potable. Su liberación es más fuerte en el exterior de las botellas en contacto con la atmósfera. En conclusión, la práctica de SODIS no lleva un riesgo significativo de cáncer, el riesgo se encuentra debajo de un caso en un millón de personas expuestas, lo que se define como riesgo aceptable por la OMS. (<www.sodis.ch>, <www.fundacionsodis.org>).

El método SODIS tiene algunas limitaciones (EAWAG/SANDEC, 2003, <www.sodis.ch>):

- No cambia la calidad química del agua.
- No se puede desinfectar agua turbia o leche porque la turbiedad reduce la intensidad de la radiación solar. Para la desinfección, la turbiedad del agua tiene que encontrarse debajo de 30 NTU (<www.sodis.ch>).
- Requiere de condiciones adecuadas de tiempo. Viento, nubes y humedad atmosférica disminuyen la efectividad del proceso de desinfección.
- Muchas veces las temperaturas no alcanzan para matar virus y rotavirus (Metcalf, 2002).

- El método no tiene un punto final seguro (Metcalf, 2002).
- No es apto para tratar grandes volúmenes de agua.

En la India se desarrolló un equipo portátil de desinfección solar de agua en base al sistema SODIS. Este equipo puede portar seis botellas de agua y las expone al sol cuando se abre. El equipo acelera el proceso SODIS aproximadamente tres veces por el calentamiento del agua a temperaturas alrededor de los 50° C. Los costos de producción son de aproximadamente 6 Sus y se puede autofabricar el equipo. (Solar Cooker Review, 2003).

Actualmente se encuentran varios modelos más desarrollados en el mercado, entre otros con el uso de botellas de vidrio resistente contra el calor (por ejemplo, <www.solarwyse.com>).

2.2. Pasteurización del agua en una cocina solar

Desde los años 1880 se sabe, por los experimentos de Louis Pasteur, que el calor puede matar a microorganismos patógenos. Una cocina solar aumenta las temperaturas del agua a por lo menos 60° C y hasta más de 80° C. Temperaturas tan altas destruyen a los patógenos en mucho menor tiempo y con mayor seguridad. Este procedimiento se llama pasteurización solar del agua.

Tabla 14
Sobrevivencia de microorganismos con temperaturas elevadas

TERMORESISTENCIA DE ORGANISMOS PATÓGENOS			
Microorganismo	Tiempo y temperatura para 100% de destrucción		
	1 minuto	6 minutos	60 minutos
Enterovirus	-	-	62° C
Rotavirus	63° C por 30 min.		
Coliformes fecales (E. coli)	80° C	-	-
Salmonellae	-	62° C	58° C
Shigella	-	61° C	54° C
Vibrio cholerae	-	-	45° C
Entamoeba histolytica, quistes	57° C	54° C	50° C
Giardia, quistes	57° C	54° C	50° C
Huevos y larvas de *Oxyurus*	-	62° C	51° C
Ascaris, huevos	68° C	62° C	57° C
Schistosoma, huevos	60° C	55° C	50° C
Taenia, huevos	65° C	57° C	51° C

Fuente: EAWAG/SANDEC, 2003; <www.sodis.ch>.

Por el grupo del SCI (Solar Cookers International) en Sacramento, California, se ha desarrollado un indicador de temperatura suficiente para la buena

pasteurización del agua, el WAPI (Water Pasteurization Indicator). Se trata de un tubo de plástico transparente, parcialmente llenado con una cera de soya que se diluye a 70° C aproximadamente. Se pone el WAPI, con la cera arriba, al fondo de los recipientes de agua. Cuando la cera se cae, la temperatura alcanza para una desinfección completa. El SCI produce el WAPI a un costo de aproximadamente 5 $us. (Solar Box Cookers, 1992).

Este indicador puede ser usado no sólo para la indicación de la temperatura correcta en el proceso de pasteurización solar del agua, sino también si se usa leña u otros combustibles para calentar el agua, disminuyendo así la cantidad de combustible necesario por más de 50%. (Andreatta, 2004).

3. Métodos modernos desarrollados para producir agua potable en lugares remotos y en zonas de catástrofe

En los Países Bajos se desarrolló un *equipo de tratamiento de aguas pluviales* para su uso como agua potable de bajo costo y proporcionando alta seguridad higiénica, especialmente para su implementación en países en desarrollo, con diseño apto para las manufacturas locales, fácil de transportar, de instalar y mantener (Sistema AquaSure bv, The Netherlands). El sistema tiene una capacidad de 40 l/hora, suficiente para cubrir toda la necesidad de agua de una familia. (Boelhouwer, 2001; Sperfeld & Nolde, 2004).

El *cono de agua* se desarrolló especialmente para generar agua potable a partir de aguas sucias y aguas salobres, por destilación solar. Se trata de un cono transparente de policarbonato sobre una base negra, con un diámetro de entre 60 y 80 cm. El cono diariamente produce entre 1 a 1,4 litros de agua pura. Usándolo todos los días, tiene una duración de cinco años. (<www.watercone.com>).

Figura 47
Uso del cono de agua

Fuente: <www.watercone.com>.

VI

Purificación de aguas servidas

Cuando el agua se ensucia, ya no se puede lavarla.
(Refrán africano)

1. Problemas actuales

Una persona produce alrededor de 500 litros de orina y 50 litros de heces al año. Esta pequeña cantidad, sin o con poca dilución, podría ser purificada y convertida en energía (biogás) y/o abonos naturales. Actualmente, un hombre que elimina su excreta con agua, produce al año, dependiendo de las condiciones locales, 20.000 hasta más de 100.000 litros de aguas negras, convirtiéndose en un caudal peligroso y sin valor. Esta mezcla se llama agua servida o residual, y aporta a la muerte de millones de personas porque transporta patógenos a los cursos de agua. (Otterpohl, 1999).

Los sistemas convencionales centralizados de manejo de aguas servidas son una tecnología clásica de "final de tubo". Como se ha descrito en detalle en el capítulo 2, estos sistemas son muy costosos en su implementación, operación y mantenimiento. Los costos por persona dependen de la cantidad de habitantes conectados por metro de canal de alcantarillado. Esto significa que los costos aumentan drásticamente en las zonas periurbanas y especialmente en las zonas rurales. Las soluciones descentralizadas en estas regiones de población menos densa son mucho más económicas.

Como las aguas residuales contienen una mezcla de agua y sustancias muy diferentes, que llegan a las plantas de tratamiento centralizadas, los nutrientes y otras sustancias valiosas contenidos en las aguas servidas no se pueden recuperar, más bien se destruyen con un alto requerimiento de energía. Por otro lado, las plantas no son suficientemente eficientes en la eliminación de nutrientes, micro-organismos patógenos y microcontaminantes. Por la distribución homogénea de ciertos contaminantes con actividad endocrina, en las cercanías de los efluentes

de plantas de tratamiento se desarrollan peces andróginos infértiles, y la presencia de antibióticos y otros fármacos en los efluentes da lugar a la formación de microorganismos resistentes.

Una planta de purificación convencional consiste en:

- Tratamiento mecánico por rejillas y separación de material particulado por gravedad.
- Tratamiento biológico con lodos activados.
- Eventualmente tratamiento químico para la floculación de fósfatos y desnitrificación.
- Estabilización de lodos por microorganismos anaeróbicos y secado posterior.

La formación de lodos por estas plantas es enorme. La agricultura ya rechaza la aplicación de estos lodos de depuración como abono en los terrenos de cultivo, por su contenido de sustancias tóxicas inorgánicas y orgánicas. Como solución queda la deposición de los lodos en depósitos sanitarios o su incineración.

Los sistemas desarrollados en los países industrializados, con recursos suficientes para su implementación completa, se exportan a los países en desarrollo como "la" solución moderna de higiene sanitaria, sin tomar en cuenta que la economía precaria de estos países impide la implementación completa del sistema, con la consecuencia de que las aguas servidas se vierten, por el sistema de alcantarillado, sin tratamiento o con una purificación totalmente deficiente, a los cuerpos de agua.

En resumen: los sistemas centralizados de purificación de aguas servidas no ofrecen soluciones viables a largo plazo, ni en países industrializados y menos en los países en vías de desarrollo y en transición.

2. Purificación descentralizada

Las desventajas frecuentemente presuntas de las soluciones descentralizadas, como por ejemplo el menor control, pueden ser compensadas por la operación conjunta de muchas plantas pequeñas en una asociación. Actualmente se discute la aplicación de las nuevas tecnologías de comunicación en el control de los sistemas descentralizados. (Hiessl, 2001).

La condición para la implementación de sistemas alternativos de tratamiento de aguas servidas es la separación de las aguas industriales y domésticas en ciclos propios pequeños. Al contrario de los sistemas lineales, se trata de devolver las aguas servidas domésticas, ricas en nutrientes, al ciclo natural, lo que permite la purificación biológica total del agua y el uso directo o indirecto de los nutrientes contenidos. (Krusche *et al.*, 1982).

La eficiencia de las plantas pequeñas y su estabilidad en la operación se comprobó para distintos tipos de sistemas. Al igual que en las plantas conven-

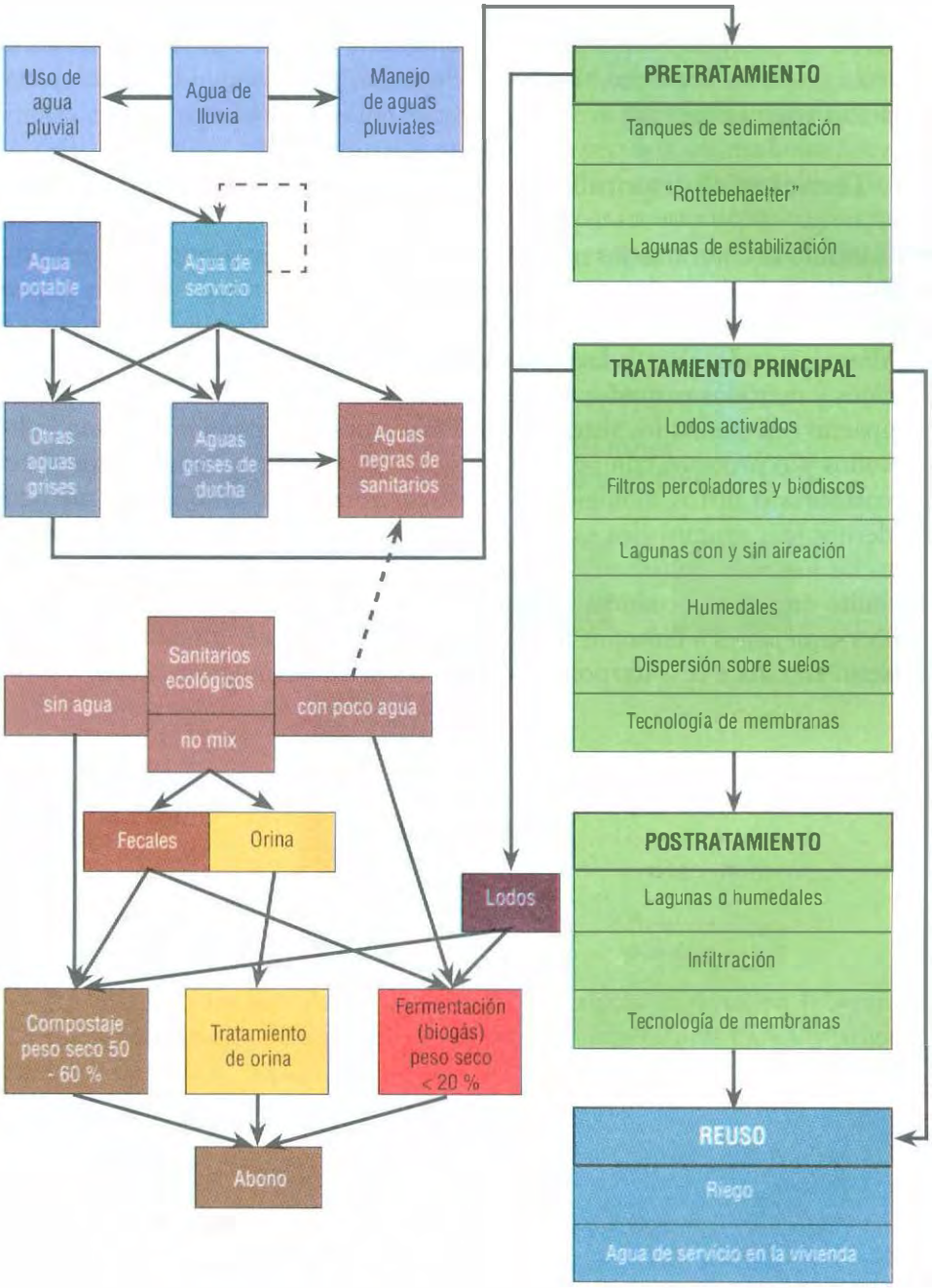
cionales de tratamiento, se distinguen tres pasos en la depuración: el pretratamiento (mecánico), el tratamiento principal (generalmente biológico) y el postratamiento o reuso (físico y/o biológico). Las bases para la purificación biológica de las aguas servidas se derivan de los procesos de autopurificación en aguas corrientes y dependen principalmente de la actividad de las biocenosis de microorganismos acuáticos, sésiles y/o flotantes, y las comunidades de plantas acuáticas y semiacuáticas.

2.1. Tecnologías disponibles

En adelante se describen los métodos más usados, de forma corta, porque existe abundante bibliografía técnica sobre el tema que puede ser consultada para ampliar los puntos aquí tratados (ver bibliografía recomendada).

Para la purificación de las aguas servidas domésticas se puede usar métodos técnicos y métodos naturales. Entre los métodos técnicos se tiene miniplantas compactas que imitan los sistemas convencionales de tratamiento, como lodos activados y/o procesos con película bacterial adherida, por ejemplo, los filtros percoladores o filtros biológicos o biodiscos rotatorios. Uno de los métodos modernos más promisorios es la nanofiltración de las aguas servidas. Entre los métodos naturales se tiene distintos sistemas de purificación biológica por un conjunto de plantas acuáticas y microorganismos, en lagunas y humedales artificiales semejantes a biótopos naturales. Las siguientes descripciones sintéticas se basan en Lange & Otterpohl, 2000; Crites & Tchobanoglous, 2000.

Figura 48
Resumen de procedimientos en la depuración de aguas servidas y el tratamiento de excrementos humanos por procesos aeróbicos y anaeróbicos



Basado en Lange & Otterpohl 2000, modificado.

Operaciones de sedimentación y filtración de sólidos

Tanques sedimentadores. Son tanques abiertos o cerrados para la sedimentación y fermentación parcial de los sólidos. Tamaño aproximado de 3 m^3. Dimensionamiento: 0,3 - 0,5 m^3/persona. Evacuación de los lodos según requerimiento, cuando las cámaras se han llenado a la mitad.

Tanques sedimentadores de varias cámaras. Los sólidos sedimentan en varias cámaras ubicadas en serie. Muros sumergidos, piezas T y/o rebalses aproximadamente 30 cm debajo del nivel de agua evitan el rebalse de lodos flotantes. Tamaño mínimo 3 m^3. Tanques con volumen mayor a 4 m^3 necesitan un mínimo de 3 cámaras. Evacuación de los lodos según requerimiento, cuando las cámaras se han llenado a la mitad. Dimensionamiento: aprox. 0,3 m^3/persona. Profundidad de las cámaras: 1,2 - 3 m. La primera cámara debería ocupar la mitad del volumen total.

Tanques estabilizadores de lodos de varias cámaras. Se distinguen de los tanques sedimentadores de varias cámaras por el tamaño. Tamaño mínimo 6 m^3. Dimensionamiento: 1,5 - 3 m^3/persona o más. Tiempo de retención calculado: aprox. 10 días. Se forman lodos flotantes que se descomponen aeróbicamente y pueden descender poco a poco al fondo. Buenas cámaras estabilizadoras, a veces pueden retener los lodos por 10 años y el lodo se fermenta completamente. Evacuación de los lodos según requerimiento, cuando las cámaras se han llenado a dos tercios.

Tanques Imhoff. Tanques en forma de embudo, en el fondo abiertos, con efluente inclinado lateralmente hacia un tanque de depósito para la estabilización de lodos. Las aguas servidas entran al embudo y rebalsan por arriba. El lodo sedimentado pasa por la apertura en el fondo al tanque de depósito. Se puede colectar el biogás que se forma durante la fermentación. Dimensionamiento del tanque de depósito de lodos: < 0,1 m^3/persona. El sistema tiene la ventaja de poder usar el biogás, en sistemas grandes. Los sistemas pequeños no son económicos por los mayores costos de construcción.

"Rottebehaelter" (filtración en contenedor aeróbico). Contenedores en los cuales se filtran los sólidos contenidos en las aguas servidas, por una malla o un filtro (por ejemplo capas de arena, grava, paja, aserrín y viruta u otro material orgánico). La masa se descompone parcialmente en el contenedor aireado y luego se lleva a compostaje externo.

Operaciones de tratamiento biológico

Sistemas de lodos activados. Semejantes a sistemas convencionales de tratamiento, con bacterias descomponedoras en suspensión. Requieren energía para su aireación y no son aptos para plantas muy pequeñas.

Sistemas de película bacterial adherida. Se trata de sistemas rellenos de material granulado de gran superficie por el cual percola el agua servida purificándose mediante la acción de bacterias y otros microorganismos adheridos a la superficie

de los gránulos. También se usan biodiscos rotatorios, parcialmente sumergidos en las aguas servidas. Por la rotación de los discos, los microorganismos entran periódicamente en contacto con el aire oxigenado y descomponen la materia orgánica de manera aeróbica. Los filtros percoladores son especialmente apropiados para aguas concentradas y poco cambiantes en su concentración. Su eficiencia disminuye significativamente a temperaturas bajas.

Lagunas de estabilización. Las lagunas de estabilización sin aireación son someras para posibilitar la entrada de oxígeno por la superficie. Requieren mucha superficie y largos tiempos de retención. Se diferencian lagunas anaeróbicas, lagunas facultativas (con capa aeróbica y capa anaeróbica) y lagunas de maduración (totalmente aeróbicas). Las lagunas aireadas pueden ser más profundas, hasta 2,5 m, y necesitan menos superficie por persona. Por otro lado, requieren mucha energía para la aireación.

Humedales artificiales. Se distinguen cinco tipos importantes de humedales artificiales:

Tres tipos con *flujo libre*, que se semejan a las lagunas de estabilización, con vegetación acuática emergente, sumergida o vegetación flotante.

Dos sistemas de *flujo subsuperficial*, donde el flujo de agua pasa subsuperficialmente por la rizósfera de plantas helófitas enraizadas. Se trata de estanques rellenos con sustratos de granulometría gruesa, entre arena y grava, vegetados con helófitas acuáticas como *Phragmites*, *Scirpus* y otras. Se distinguen humedales de flujo horizontal y de flujo vertical. Ambos sistemas requieren mucho menos superficie que las lagunas y los sistemas de flujo libre.

Dispersión sobre suelos. El agua servida se dispersa sobre suelos con o sin uso agrícola. Este método requiere grandes superficies y constituye un riesgo de contaminación para las aguas subterráneas. Se usa la capacidad de purificación del suelo y de las plantas. Se distinguen tres sistemas: infiltración de tasa baja (puede usarse para terrenos agrícolas o de forestación), infiltración rápida en sustratos gruesos de alta permeabilidad, y flujo superficial en suelos poco permeables.

Acequias y lagunas de infiltración. Lagunas y acequias artificiales para el almacenamiento e infiltración de aguas servidas. Combinan la capacidad de purificación del cuerpo acuático con sus plantas acuáticas y semiacuáticas con la capacidad de purificación del suelo. Principalmente se usan para el postratamiento, en combinación con el cultivo de lentejas de agua para la producción de alimento balanceado o como lagunas de cría de peces.

Sistemas de tratamiento de líquidos concentrados con alto contenido de materia orgánica

Plantas de biogás. Son aptas sólo para aguas servidas concentradas con contenido de 10 a 20% de materia orgánica seca. Una fermentación eficiente requiere de temperaturas elevadas de alrededor de 30° C y un ambiente estrictamente

anaeróbico. Los lodos restantes se pueden usar como abono. Ese tipo de plantas también se pueden implementar en el ambiente urbano, combinando los desechos orgánicos de cocina y jardín con los excrementos humanos, siempre y cuando se usen tecnologías sanitarias adecuadas con ningún o mínimo uso de agua. Aplicando esta tecnología, las emisiones de CO_2 se reducen a cerca de 90%, disminuyendo el aporte al cambio climático.

Compostaje. Sólo apto para excrementos y lodos generados por otros sistemas de tratamiento, con contenido de materia orgánica seca de 50 a 60%. Durante el proceso de compostaje aeróbico, en los primeros días, las temperaturas se elevan a más de 50° C y desinfectan el material.

Nuevas tecnologías:

Sistemas compactos. Actualmente existen varios sistemas de tratamiento compacto de aguas servidas negras y grises. Existen sistemas para un caudal aproximado de 4 m^3/día hasta 4.000 m^3/día, aunque más comúnmente no exceden un caudal de 1.000 m^3/día. Se trata de tecnologías sofisticadas con consumo de energía que combinan varios elementos de pretratamiento, tratamiento biológico y tratamiento final, incluyendo frecuentemente la desinfección. Uno de estos es el sistema SBR (Sistema de Reactores en Lotes), donde se realizan los procedimientos de sedimentación, descomposición aerobia y anaerobia en el mismo tanque, en secuencia temporal.

Algunos sistemas de purificación compacta de aguas grises permiten el reciclaje directo de las aguas tratadas como aguas de servicio en la vivienda (ver capítulo IV, subtítulo 3.2.).

Tecnología de membranas. Se usan membranas con poros de 0,1 a 0,4 µm para la microfiltración de las aguas pretratadas. Retienen todos los microorganismos menos los virus, evitan la necesidad de un postratamiento y requieren muy poco espacio. Por otro lado, necesitan mucha energía para su operación. Las membranas de nanofiltración tienen un nivel alto de retención de moléculas orgánicas, coloides, bacterias y virus (ver capítulo V). Son usadas especialmente para aguas grises, donde dividen el flujo en aproximadamente 1% de concentrado y 99% de permeado (Heerenklage & Stegmann, 2004). El concentrado puede entrar, junto con otra materia orgánica, a una planta de biogás o al compostaje.

Purificación fotocatalítica. En este caso se usa la oxidación fotocatalítica de las sustancias orgánicas contenidas en las aguas servidas mediante la luz UV solar y el oxígeno atmosférico activado por un catalizador, por ejemplo, óxido de titanio u otros pigmentos colorantes. (Woehrle *et al.*, 2003). "En estas circunstancias se generan radicales hidrófilos que tienen un elevado potencial de oxidación y atacan cualquier sustancia orgánica que se encuentre en el medio, dando lugar a un proceso de ruptura de enlaces hasta concluir en compuestos como el dióxido

de carbono, agua y simples ácidos inorgánicos diluidos", destruyendo de esta manera también sustancias tóxicas no biodegradables. (Blanco, 2001).

Parece ser un proceso prometedor para el procesamiento de aguas servidas en países con alta radiación solar y para la destrucción de microcontaminantes orgánicos.

Reuso de aguas purificadas

Las aguas tratadas se pueden reutilizar como agua de servicio en la vivienda para fines de limpieza, lavado de ropa, barrido de inodoro y riego de jardín. Para regar plantas comestibles se recomienda el riego subterráneo.

Riego subterráneo. Riego por tubos perforados, en una profundidad de 20 a 30 cm. Usa la capacidad de purificación del suelo y de las plantas. Evita riesgos higiénicos por contacto con el agua.

Las aguas grises de cocina, lavadoras, lavamanos, lavabos, ducha etc., después del desgrasado y filtrado de sustancias sólidas, se pueden usar directamente para el riego. Se recomienda un sistema de tubos con distribución por gravedad para evitar el desarrollo de microorganismos y malos olores en tanques de almacenamiento. De esta manera se llegan a usar e infiltrar las aguas grises de una vivienda en un terreno limitado. Las aguas grises son poco contaminadas con materia orgánica, patógenos y detergentes. Manejadas adecuadamente, pueden usarse en el riego directo de plantas no comestibles y en el riego subterráneo de plantas comestibles. (Ludwig, 1994, 1995, 2002; <www.greywater.com.au>).

Las soluciones descentralizadas han ganado mucho en importancia, porque la técnica moderna permite la operación segura de plantas de tratamiento a muy pequeña escala. Las plantas descentralizadas cumplen con estándares altos, que en algunos aspectos exceden significativamente las posibilidades de plantas centralizadas (Nolde, 2002). *Las plantas de tratamiento natural de aguas, no sólo son económicas, eficientes y operacionalmente seguras, sino también tienen "efectos positivos" en la protección de especies y biótopos, en el aspecto del paisaje y en el diseño de los alrededores de la vivienda.* (Lange & Otterpohl, 2000).

No existen soluciones generales para la implementación de plantas de tratamiento. Pero se debe tomar en cuenta algunos aspectos básicos en la planificación de plantas descentralizadas (en base a Lange & Otterpohl, 2000):

- Cantidad de aguas servidas y concentración de nutrientes.
- Superficie disponible e inclinación del terreno.
- Eliminación o reuso del agua tratada.
- Requerimientos de calidad en el agua tratada.
- Capital disponible, porcentaje de autoconstrucción, adquisición de materiales.
- Requerimientos y costos de operación y de mantenimiento.

Tabla 15
Evaluación de los métodos

	Métodos naturales	Métodos técnicos
Consumo de terreno	alto	bajo
Consumo de energía	bajo	mayor
Requerimiento de mantenimiento	bajo	grande a muy grande
Costos de operación	bajos	altos
Inversión	relativamente baja	muy diferente según tipo

Fuente: Bahlo, 1999.

Tabla 16
Procedimientos descentralizados y parámetros de dimensionamiento

Métodos naturales							
		Lagunas				Humedales	
Parámetro	Unidad	Laguna de sedimentación	Laguna de estabilización sin aireación	Laguna de estabilización con aireación	Laguna de postratamiento	Con flujo horizontal	Con flujo vertical
Volumen específico	m^3/persona	≥ 0.5	≥ 15	4-7	> 0,1	3 - 6	>2,5
Superficie específica	m^2/persona	0.5	> 10	≥ 3 (2-3)	> 0,1	5 - 12	>2,5
Profundidad	m	1	1 - 1,5	1.5 - 3.5	1 - 2	< 1	> 1
Tiempo de retención	días	3	≥ 20	≥ 10	≥ 5	1 - 5	0,5 - 2.5
Volumen mínimo	m^3	3	6	16	0.4		15
Superficie mínima	m^2	3	4	12	0,4	25	15
Carga máxima por volumen	kg DBO_5/ m^3día	< 0,08	< 0,004	≤ 0,025		< 0,004	< 0,004
Métodos Técnicos							
Parámetro	**Unidad**	**Tanque de sedimentación de varias cámaras**	**Tanque de estabilización de varias cámaras**	**Lodos activados**	**SBR**	**Filtros de goteo**	**Discos sumergidos**
Volumen específico	m^3/persona	0.3	> 1,5	0.2 - 0.3	0.2 - 0.3	0,3 - 0.4	0.3 - 0.4
Profundidad	m	> 1,2	> 1,2	> 1	> 1	> 1,5	
Tiempo de retención	días				1 - 3	3 - 6 min	10 - 20 horas
Volumen mínimo	m^3	3	1,5	1	1	2	2
Carga máxima por volumen	kg DBO_5/ m^3día	< 0,2	< 0.04	≤ 0,2	< 0,2	≤ 0.15	
Carga máxima por superficie	kg DBO_5/ m^2día					≤ 0,004	≤ 0.004
Carga máxima por lodos	kg DBO_5/kg peso seco x día			≤ 0,05	< 0,05		

Fuente: Lange & Otterpohl, 2000.

Se recomienda:

- Consultar un planificador profesional.
- Examinar las posibilidades de uso y/o construcción de una planta vecinal y la operación conjunta con otras plantas en la vecindad.
- Reducir la entrada de aguas no contaminadas, como aguas pluviales, al mínimo.
- Verificar posibilidades de mejorar el efluente de la planta antes de su vertido a un cuerpo receptor, por ejemplo, aireación por un sistema de cascadas.
- Examinar las posibilidades de tratamiento de los lodos de depuración en el mismo terreno, por ejemplo, por compostaje junto a otros desechos orgánicos del jardín o la humificación con *Phragmites* (cañaveral).
- Construir lo más cerca posible al asentamiento humano, no construir en el fondo de valles, evitar el "consumo" del paisaje. En plantas con emisión de olores se debe mantener una distancia mínima a las viviendas.

2.2. Métodos naturales

Para la purificación de aguas servidas negras o grises, es decir con o sin contenido de heces, existen muchos métodos naturales que resultan mejores que las plantas de tratamiento técnicamente sofisticadas, tomando en cuenta la menor inversión para su implementación y operación. Además ofrecen la posibilidad de usar los nutrientes directamente. (Krusche *et al.*, 1982).

Los sistemas naturales descentralizados son sistemas de gran superficie que usan como principio funcional los procesos biológicos de autopurificación de sistemas naturales (cuerpos de agua y suelos). Estos sistemas, especialmente, tienen una gran capacidad de amortiguación frente a las cargas hidráulicas pico y de contaminantes. Por este motivo se adaptan mejor a los cambios en el desarrollo de la población y de los asentamientos dispersos. Los más importantes y más distribuidos son las lagunas de estabilización y los humedales artificiales. Estos procedimientos económicos necesitan poco mantenimiento y a la vez son muy eficaces en el proceso de purificación, son una alternativa a los procedimientos "técnicos" clásicos, además de cumplir la meta de sostenibilidad (Beneke *et al.*, 2003).

Por las características muy distintas de las aguas negras (provenientes de los inodoros) y las aguas grises (provenientes de la cocina, bañeras, duchas etc.), los nuevos conceptos sanitarios posibilitan la generación de abono desde las aguas negras y el reuso de las aguas grises tratadas. Las aguas negras están compuestas por las aguas cafés (residuos fecales) que contienen la mayor parte de las sustancias orgánicas y ciertos nutrientes, y las aguas amarillas (orina) que contienen casi todos los nutrientes valiosos solubles como N, P, K y otros. (Otterpohl, 1999).

Tabla 17
Concentraciones y cargas en aguas negras (residuos fecales) y aguas grises sedimentadas

	Aguas fecales (140 l/pers. x dia)		Aguas grises (69 l/Pers. x dia)	
	mg/l	g/Pers. x dia	mg/l	g/Pers. x dia
DQO	300 - 600	80	470	33
DBO5	150 - 300	40	240	17
N total	30 - 60	10	22	1,5
P total	6 - 12	2,3	2	0,15

Fuente: Otterpohl, 1999.

Las mejores condiciones para aplicar estas soluciones se logran con la separación de las heces de las otras aguas servidas domésticas. De esta manera, las sustancias higiénicamente problemáticas no se diluyen innecesariamente, quedan en el campo de responsabilidad del productor, pueden ser tratadas sin problemas en sistemas cerrados pequeños y pueden ser devueltas localmente, sin carga ambiental y sin necesidad de transporte. (Krusche *et al.*, 1982).

En principio, existen tres posibilidades para una devolución útil de las aguas servidas a los ciclos naturales:

- Separación de heces y aguas grises. Sanitario ecológico para heces y desechos orgánicos sólidos, con producción de compost combinado con tratamiento biológico de las aguas grises.
- Separación de la mezcla de heces y aguas servidas mediante un separador de lodos. Tratamiento de los lodos en una planta de biogás y compostaje final de los lodos restantes, o compostaje de los lodos. Los desechos orgánicos sólidos pueden ser compostados separadamente o conjuntamente con los lodos. Otra posibilidad es el triturado de los desechos orgánicos y su introducción a la planta de biogás junto a las aguas servidas. Las aguas efluentes del separador pueden ser tratadas mediante métodos biológicos y luego ser reusadas.
- Tratamiento de la mezcla de heces y aguas grises en plantas naturales de tratamiento, por ejemplo lagunas de estabilización o humedales artificiales, para generar productos vegetales o como creación de biótopos, con reuso del agua en el riego; compostaje separado de los desechos orgánicos en el jardín propio o en sistemas comunes de compostaje.

Los tres métodos se pueden combinar y son aplicables en diferentes escalas en zonas rurales y urbanas.

Ventajas del tratamiento natural de las aguas servidas (resumen en base a Krusche *et al.*, 1982):

- Disminución de costos, por costos bajos de implementación y operación; el manejo se reduce a un destapado eventual de los desagües, deshierbe, pesca eventual y poda de la vegetación ribereña.

- Reserva de agua disponible para emergencias (incendios, sequías).
- Riego y abonado para huertas, jardines y cultivos agrícolas por el reuso del agua y la recuperación de nutrientes.
- Generación de beneficios económicos y ambientales por el cultivo de algas, plantas acuáticas, plantas ribereñas como forraje, materiales de construcción (caña, totora), biomasa para compostaje y para generación de energía (biogás).
- Generación de beneficios económicos y ambientales por el cultivo de peces, especialmente carpa.
- Equilibrio del balance de agua local por evapotranspiración, infiltración y/o devolución a cuerpos de agua superficiales.
- Mejoramiento del microclima.
- Mejoramiento de los ecosistemas por la creación de nuevos biótopos diversificados.
- Mejoramiento de la calidad de las aguas superficiales naturales por eliminación o reducción de descargas contaminantes.
- Enriquecimiento del paisaje.
- Mejoramiento de la independencia local y reforzamiento de la autoresponsabilidad de los ciudadanos.

En el tratamiento y uso ecológico de las aguas servidas se encuentran todavía muchas posibilidades, especialmente para unidades pequeñas, que hasta ahora sólo se han usado de manera experimental o ni siquiera se han probado.

A largo plazo, se debería subdividir el sistema actual centralizado de aguas servidas en sistemas compactos a nivel de barrios y urbanizaciones. Los productos generados, como el biogás, el abono y productos secundarios eventuales, beneficiarán a los pobladores locales, evitando largas vías de transporte. (Krusche *et al.*, 1982).

La gestión ecológica de las aguas servidas jugará un rol decisivo en la búsqueda de soluciones para el uso y reuso eficiente del agua, para el mantenimiento de la fertilidad de suelos a largo plazo y para la protección de las aguas naturales. Se tiene que aplicar el concepto de cero descargas a la gestión comunal de aguas servidas. Los sistemas sanitarios pueden ser construidos con un grado alto de eficiencia, usando viejas y nuevas tecnologías para el tratamiento de caudales segregados. En este caso se puede hablar de gestión de recursos porque ya no habría agua servida.

La Agenda 21 de la ONU no considera conceptos sanitarios sostenibles, aunque el agua y suelos fértiles son requisitos importantes para la sobrevivencia de futuras generaciones. Conceptos sanitarios eficientes dependen en gran parte de la cooperación con la agricultura, para evitar emisiones y para posibilitar el reuso del agua y de los nutrientes. (Otterpohl, 1999).

Un manejo de las aguas servidas con tratamiento de caudales segregados y el reuso de las aguas grises puede reducir el consumo de aguas frescas (por ejemplo, de camiones cisterna) a porcentajes mínimos; hasta 10% de lo que se considera actualmente eficiente. (Otterpohl, 1999).

2.2.1. Lagunas de estabilización

La gran ventaja de las lagunas de estabilización es el hecho de que se trata de un procedimiento natural de purificación con muy poca necesidad de mantenimiento y muy poco o nulo requerimiento de energía.

En los países industrializados las lagunas de estabilización casi no existen y son aplicadas sólo en las zonas rurales. Su tamaño generalmente no excede la superficie necesaria de purificación para 1.000 habitantes, y se calculan generalmente entre 10 y 15 m^2 por persona conectada (Wagner, 2003b).

A escala internacional, las lagunas de estabilización son los sistemas de tratamiento más frecuentes. Hasta las grandes ciudades de países en desarrollo, como Lima y las ciudades industriales del sur de Brasil, solamente utilizan lagunas extendidas para la purificación de sus aguas servidas. La planta más grande, con 1.295 ha, se encuentra en Melbourne, Australia (Wagner, 2003b). La optimización de esta tecnología, también por su combinación con otros sistemas naturales, como los humedales artificiales, su integración al paisaje y su uso para la recreación de la población, puede significar un desarrollo importante no sólo para los países en desarrollo, sino también para los países industrializados (Beneke *et al.*, 2003).

En comparación con las plantas de tratamiento convencionales y los procesos biológicos en humedales artificiales, en las lagunas existen muchos más factores que influyen en la eficiencia de la purificación. Por eso, la clasificación y la formulación de reglas técnicas para lagunas siempre son muy generales, lo que tiene la ventaja de poder incluir condiciones especiales en su planificación.

Se distinguen generalmente:

- Lagunas anaeróbicas profundas con alta carga orgánica, principalmente usadas para la sedimentación y estabilización de sustancias sólidas sedimentables. Por su desprendimiento de olores, tienen que ser cubiertas o aisladas de zonas residenciales.
- Lagunas aeróbicas someras, donde la fotosíntesis y el intercambio con la atmósfera suministran el oxígeno en toda la columna del agua.
- Lagunas facultativas más profundas, donde la zona superficial se mantiene aeróbica por la fotosíntesis de las algas y procesos de intercambio con el aire, y la zona profunda es anaeróbica. Durante el transcurso del día, el espesor de las capas cambia sustancialmente.
- Lagunas con aireación artificial, pueden ser profundas y recibir más carga orgánica, pero tienen un alto consumo de energía. Se parecen a los tanques de lodos activados de las plantas convencionales.

Los objetivos predominantes para el uso de esta tecnología son su bajo costo, la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO), es decir, la descomposición de la materia orgánica, la reducción de microorganismos patógenos y la

retención de huevos de helmintos (ver tabla 18), por otro lado, generalmente no interesa la retención y destrucción de los nutrientes porque el efluente en la mayoría de los casos se usa en el riego agrícola (Wagner, 2003b).

Tabla 18
Retención de patógenos en lagunas de estabilización y en sistemas convencionales de lodos activados

Tipo de patógeno	Tasa de eliminación en lagunas de estabilización	Tasa de eliminación en sistemas de lodos activados
Bacterias	hasta 6 unidades logarítmicas	1 a 2 unidades logarítmicas
Virus	hasta 6 unidades logarítmicas	1 a 2 unidades logarítmicas
Protozoarios	100%	90 a 99%
Huevos de helmintos	100%	90 a 99%

1 unidad logarítmica = 90% retención
2 unidades logarítmicas = 99% retención
3 unidades logarítmicas = 99,9% retención
6 unidades logarítmicas = 99,9999% retención

Fuente: Mara, 1997.

La retención de parásitos y huevos de helmintos es una de las tareas más importantes en el tratamiento de las aguas servidas en los países en desarrollo. En las lagunas de estabilización la retención se realiza principalmente por procesos de sedimentación y adsorción a suspensiones biológicas (lodos activados), procesos que se favorecen por el tiempo alargado de retención en lagunas sin aireación, además por un pH alto mayor a nueve e irradiación solar de onda corta. En condiciones anaeróbicas, como en las lagunas anaeróbicas y el fondo de las lagunas facultativas, los patógenos se destruyen si el tiempo de retención es suficientemente largo (Wagner, 2003b). La OMS recomienda un tiempo de retención de 10 días en el sistema, lo que garantiza la reducción de los huevos de helmintos en un 99% (Frassinetti, 2003).

Algunas preguntas de diseño, que no se podían responder en el pasado, han encontrado sus soluciones, por ejemplo, la forma óptima de las lagunas incluyendo la ubicación de las entradas y salidas, la introducción de muros para guiar el flujo de las aguas y el dimensionamiento de los espacios de retención de lodos (Wagner, 2003b).

Aspectos importantes son:

- Evitar la formación de corrientes directas entre entrada y salida.
- Optimizar el diseño de la entrada de aguas.
- Garantizar la mezcla rápida del afluente con el cuerpo de agua en lagunas facultativas.
- La implementación de muros en sentido perpendicular al flujo de agua puede maximizar la eficiencia. Se recomienda un mínimo de dos muros, con una longitud de 70% del ancho de la laguna.

- La salida se debe ubicar fuera de la corriente principal, de preferencia en una esquina.

Las lagunas facultativas de estabilización son las más usadas en países en transición y en vías de desarrollo, por sus costos mínimos en inversión, operación y mantenimiento. Sistemas con varias lagunas y tiempos de retención muy altos, de más de 50 días, muestran buena remoción de materia orgánica, nitrógeno y microorganismos patógenos (Crites & Tschobanoglous, 2000).

Las lagunas de maduración se implementan en casos donde se requiere una alta reducción de patógenos y donde se tiene suficiente espacio. También pueden ser utilizadas para la cría de peces. (Wagner, 2003b).

En las lagunas facultativas y las lagunas de maduración, las algas juegan un rol importante en los procesos de purificación. Utilizan como nutrientes las sustancias generadas por los procesos de descomposición de las bacterias (Wagner, 2003b).

En general, los sistemas de lagunas requieren grandes extensiones de terreno y las lagunas sin aireación a menudo no cumplen con las normas establecidas de límites permisibles en su efluente. Frecuentemente se generan malos olores por un diseño inapropiado o una operación incorrecta. Errores frecuentes son: exceso de la carga máxima por el incremento de los habitantes en la zona, negligencia en la eliminación regular de los lodos sedimentados, y flujos directos entre entrada y salida por diseños equivocados. (Crites & Tschobanoglous, 2000; Beneke *et al.*, 2003).

Por su tamaño, las lagunas de estabilización tienen un volumen amortiguador grande para concentraciones pico de contaminantes y de carga hidráulica, lo que se puede utilizar en tiempos con mayor ingreso de aguas a causa de precipitaciones, sin que se altere la eficiencia del tratamiento (Burmester, 2003).

Las lagunas de estabilización logran buenos resultados en lo que se refiere a la descomposición de la materia orgánica, es decir, reducen eficientemente las cargas de DBO y DQO. La nitrificación y la retención de nitrógeno son mínimas, mientras el potencial de desnitrificación es especialmente alto en lagunas sin aireación, así que el nitrógeno sale del sistema principalmente en forma de amonio (Burmester, 2003). El amonio es problemático si las aguas se evacuan directamente a un cuerpo de agua. Por otro lado, si las aguas se usan en el riego de terrenos agrícolas como en la mayoría de los países en desarrollo, el contenido de nutrientes, inclusive amonio, y el contenido de algas provenientes de las lagunas es deseable. Sus desventajas importantes son la posibilidad de desprender olores desagradables y volverse criadero de mosquitos en clima cálido.

2.2.2. Humedales artificiales

Se conocen cinco tipos principales de humedales artificiales:

- Humedales de flujo libre con vegetación helófita emergente.
- Humedales de flujo libre con vegetación flotante.

- Humedales de flujo libre con vegetación acuática sumergida.
- Humedales de flujo subsuperficial horizontal.
- Humedales de flujo subsuperficial vertical.

En todos los humedales ocurren condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas al mismo tiempo. Dentro de los sustratos enraizados, el oxígeno es aportado por las raíces de las plantas helófitas desde el aerénquima, una estructura de transporte de gases característica para estas plantas.

Tabla 19
Mecanismos de remoción y transformación en humedales artificiales de los constituyentes más importantes en las aguas servidas

Constituyentes	Mecanismos de remoción y transformación
Compuestos orgánicos biodegradables (DBO)	Bioconversión por microorganismos Filtración Sedimentación
Sólidos suspendidos	Sedimentación Filtración
Nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación Volatilización Asimilación vegetal
Fósforo	Sedimentación Filtración Adhesión a sustratos férricos Asimilación vegetal
Metales pesados	Precipitación Absorción Absorción por las plantas
Componentes orgánicos traza	Volatilización Absorción Biodegradación por microorganismos Absorción por las plantas
Organismos patógenos	Decaimiento natural Predación Irradiación UV Sedimentación Filtración Excreción de antibióticos por las raíces de algunas plantas

Fuentes: Crites & Tschobanoglous, 2000, Vyzamal *et al.*, 1997.

Especialmente los humedales artificiales de flujo subsuperficial, no sólo son aptos para regiones rurales, sino también pueden ser localizados en zonas periurbanas y aglomeraciones urbanas medianas. Su ocupación de espacio no es excesiva y, por otro lado, estos sistemas son apropiados para estimular diseños y desarrollos en la reconstrucción de los paisajes urbanos. En el ambiente urbano, se recomienda su uso principalmente para el tratamiento de aguas grises,

en combinación con sanitarios ecológicos; de esta forma se reduce la superficie necesaria de los humedales a 1 m^2 por habitante y se evita el contacto eventual con aguas fecales. No producen problemas de olor ni otro tipo de riesgo, las áreas adyacentes pueden ser usadas por el público, así que son aptos para su integración en las áreas verdes urbanas. (Beneke *et al.*, 2001; Beneke & Von Seggern, 2004).

Las plantas acuáticas y semiacuáticas que crecen en estos sistemas de depuración pueden ser usadas como forraje y atribuir así a la economía de las familias periurbanas en los países en desarrollo y aportar a los trabajos de operación y mantenimiento; investigaciones respecto a este tema se realizan por SANDEC en África (Koné, 2007). En los humedales artificiales también se pueden incluir plantas ornamentales para aumentar su valor estético y la biodiversidad de estos ecosistemas. La cosecha de las flores puede constituirse en una fuente de ingreso económico para poblaciones de bajos recursos.

Los humedales se usan en la purificación de las aguas domésticas, aguas negras y aguas grises, ciertas aguas industriales, aguas de mina, y también se vuelven más y más populares para el tratamiento y la atenuación de la escorrentía de aguas pluviales antes de su vertido a los cuerpos de agua (ver capítulo VII, subtítulo 4). En una versión adaptada también se usan en la humificación de los lodos de depuración (ver estudio de caso de Egipto, capítulo VIII, subtítulo 2.2.1.). Las plantas usadas en los sistemas de depuración pueden ser usadas como forraje y contribuir así a la economía de las familias periurbanas de los países en desarrollo; investigaciones alrededor de este tema se realizan por SANDEC en África (Koné, 2007).

Todos los humedales necesitan un fondo impermeable, que puede ser de limo o arcilla natural con una permeabilidad kf entre 10^{-8} y 10^{-9} m/s (Wagner, 2004). Si el suelo natural no es impermeable, se tiene que introducir una capa gruesa de limo compactado, de esa permeabilidad requerida, o sustituirlo por materiales artificiales como alfombras de bentonita o láminas plásticas.

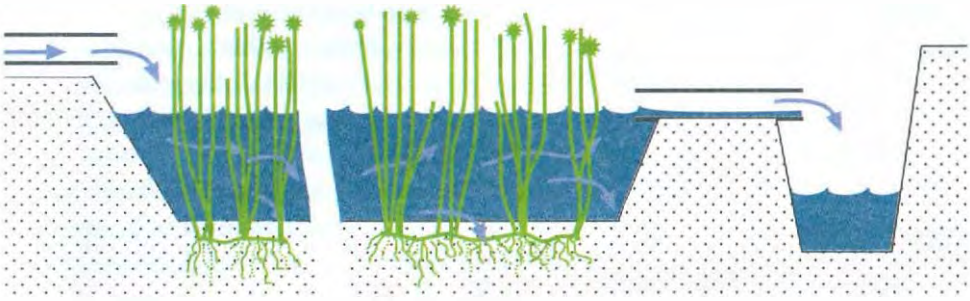
Humedales de flujo libre con vegetación helófita emersa

Se asemejan a las lagunas de estabilización, con la introducción de plantas acuáticas superiores emersas, como por ejemplo eneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncias (*Carex*), juncos (*Scirpus*), totoras (*Schoenoplectus*), puntas de flecha (*Sagittaria*) y otras. Las plantas ayudan al proceso de purificación por su gran superficie sumergida, sobre la cual se adhieren bacterias, aumentando de esta manera la intensidad de descomposición de la masa orgánica. Las hojas de las plantas emergentes dan sombra al agua y evitan el crecimiento excesivo de algas. Las lagunas tienen una profundidad entre 1 y 4,5 m. Se recomienda segar la vegetación acuática periódicamente para mantener la capacidad hidráulica y promover el crecimiento activo.

Una desventaja de estos sistemas es el decaimiento de la vegetación dentro del agua. El efluente proveniente de las lagunas contiene variables concentraciones de materia orgánica, independiente de la aplicación de aguas residuales (Crites & Tschobanoglous, 2000).

Estos sistemas están en uso sobre todo en Norteamérica.

Figura 49
Humedal artificial con flujo superficial y plantas acuáticas emergentes, en este caso *Schoenoplectus lacustris*

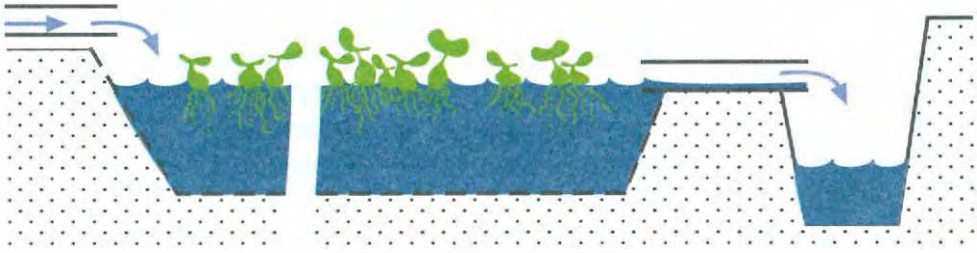


Dibujo basado en Vyzamal *et al.*, 1997.

Humedales de flujo libre con vegetación flotante

Se trata de estanques someros entre 0,6 y 1,2 m de profundidad, en las cuales se introducen plantas acuáticas flotantes que cuelgan sus raíces al agua. Las raíces de las plantas sirven de superficie para los microorganismos descomponedores de la materia orgánica. Las plantas dan sombra al agua y evitan la entrada de oxígeno, así que se trata de lagunas anaeróbicas. Por otro lado, las plantas sacan sus nutrientes del agua. La biomasa se tiene que cosechar regularmente para la extracción de nutrientes. Se usa en la producción de alimento balanceado, producción de compost y/o biogás.

Figura 50
Humedal artificial con flujo superficial y vegetación flotante, en este caso *Eichhornia crassipes*



Dibujo basado en Vyzamal *et al.*, 1997.

En los países tropicales y subtropicales es común el uso de *Eichhornia crassipes* como planta flotante, que tiene una biomasa grande y altas tasas de reproducción.

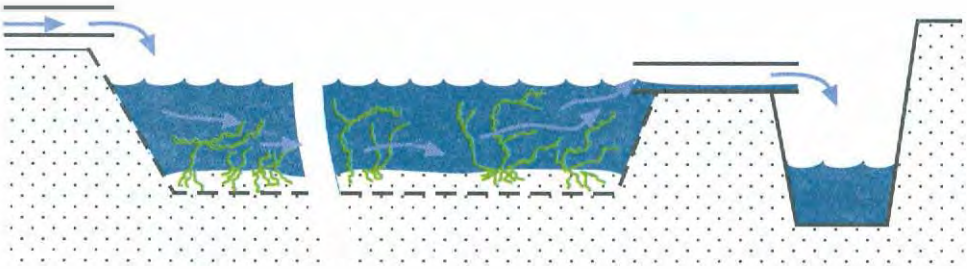
En países templados se usa la lenteja de agua (varias especies de *Lemna*), en especial para la producción de alimento balanceado para aves de corral, por su alto contenido en proteínas.

Los sistemas de plantas flotantes se adaptan mejor a sistemas de postratamiento; especialmente los sistemas de *Lemna* que se aplican, no tanto por su capacidad de purificación que resulta baja, sino por su uso combinado para la producción de alimento balanceado.

Humedales construidos de flujo libre con vegetación sumergida

En vez de usar vegetación acuática flotante, en este caso se usan plantas sumergidas no enraizadas en el sustrato. Al contrario de los sistemas de plantas flotantes, requieren de la entrada de luz al agua y su producción de oxígeno por fotosíntesis entra al agua, promoviendo un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica. Al igual que en los casos anteriores, la superficie de las plantas sirve para la adhesión de la flora microbiana que aporta al proceso de depuración. Por su poca eficiencia y por la necesidad de airear las lagunas, estos sistemas casi ya no son usados. (Crites & Tschobanoglous, 2000).

Figura 51
Humedal artificial con flujo superficial y vegetación sumergida, en este caso *Elodea canadensis*



Dibujo basado en Vyzamal *et al.*, 1997.

Todos los sistemas de flujo libre son susceptibles a problemas de desarrollo de mosquitos y olores desagradables.

Los mosquitos se pueden controlar por peces que se alimentan de larvas de mosquitos (*Gambusia*) o por agentes de control biológico como, por ejemplo, *Bacillus thuringensis israelensis*. Uno de los métodos más efectivos es la aspersión de agua en la superficie de las lagunas para evitar la oviposición de los mosquitos. (Crites & Tschobanoglous, 2000).

Humedales de flujo subsuperficial

Todos los humedales de flujo subsuperficial requieren de un tratamiento primario de las aguas residuales, que consiste en la sedimentación de las sustancias sólidas contenidas.

En estos sistemas, toda el agua servida se lleva por la zona enraizada de un sustrato poroso de arena a grava. Los mecanismos de purificación son muy complejos debido a los efectos físicos, químicos y biológicos conjuntos del sustrato, los microorganismos adheridos sobre sustrato y raíces, plantas, y aire en los poros. El factor más importante en la descomposición de las sustancias contenidas en las aguas servidas son los microorganismos, al igual como en cualquier proceso de tratamiento biológico convencional o natural, y no así las plantas. La diversidad de especies de microorganismos en el sustrato enraizado es inmensa, en condiciones óptimas se logra una mineralización total de las sustancias orgánicas a los productos finales dióxido de carbono y agua.

Las plantas ayudan a los procesos de descomposición por la introducción de oxígeno al sustrato mediante su aerénquima, asimilan una cantidad pequeña de los nutrientes, protegen el sustrato contra cambios extremos de temperatura, le dan sombra, intensifican la evaporación y, en especial, garantizan la permeabilidad del sustrato a largo plazo por la actividad de sus raíces.

Los estanques, rellenos con arena hasta grava (3 - 32 mm), con una pendiente característica de 0 a 0,5%, tienen generalmente una profundidad entre 50 cm y más de 1 m. Como vegetación se usan las mismas helófitas mencionadas para las lagunas de flujo libre, en general carrizos, totoras y eneas. Para los humedales de flujo horizontal se recomiendan sustratos con una permeabilidad kf de 10^{-2} hasta 10^{-3} m/s, para humedales verticales el sustrato puede ser algo más fino, con una permeabilidad entre 5×10^{-4} hasta 5×10^{-5} m/s. (Wagner, 2003a).

Los sistemas con flujo horizontal necesitan una superficie de 5 m^2/persona y una profundidad de 50 a 80 cm, los sistemas de flujo vertical necesitan 2,5 m^2/persona y una profundidad generalmente mayor a 1 m.

Según las experiencias actuales, llegan a un tiempo de vida entre 15 y 30 años. Si no fueron cargados con sustancias persistentes o tóxicas, el sustrato se puede lavar y reusar, o se puede depositar sin peligro en cualquier lugar. (Lange & Otterpohl, 2000).

La eficiencia en la remoción de materia orgánica, nutrientes y otras sustancias es alta, y cumple los requisitos establecidos para la calidad de su efluente, también en la estación de invierno. La remoción de microorganismos patógenos es muy alta y excede generalmente la capacidad de plantas convencionales. (Lange & Otterpohl, 2000).

Aparte de la descomposición de materia orgánica, eliminación de nutrientes y microorganismos patógenos, los humedales también pueden descomponer algunas sustancias orgánicas difícilmente degradables. La eliminación de metales

se basa en procesos de absorción del sustrato y las raíces, así que la capacidad de retención se agota rápidamente. Para metales pesados, un tratamiento técnico es más efectivo. (Wagner, 2003a).

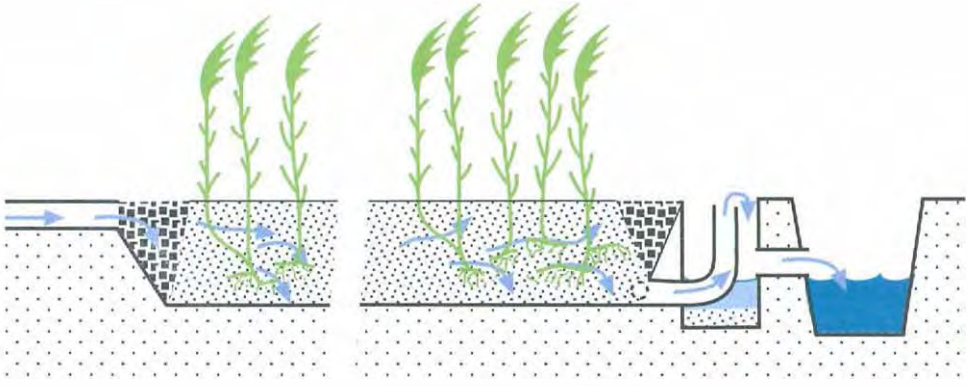
El flujo subsuperficial evita problemas con olores e insectos acuáticos, por ejemplo, plagas de mosquitos. Por otro lado, los sistemas requieren menos superficie.

Las desventajas en comparación con los sistemas de flujo libre son el costo del sustrato y la obstrucción potencial del medio de filtración por la entrada y/o formación de sustancias sólidas (colmatación).

Humedales de flujo subsuperficial horizontal

Los humedales de flujo horizontal conducen el agua servida horizontalmente por un sustrato enraizado. Para este efecto se recomiendan sustratos bastante gruesos, entre arena gruesa y grava, para garantizar el flujo del agua por el sustrato y evitar la formación de canales de flujo superficial. La materia sólida se retiene en los primeros 50 cm después de la entrada, por lo que se aplican cascajos de 2 a 5 cm de diámetro en la entrada y los primeros 50 cm a un metro de recorrido. El mayor problema en estos sistemas es la hidráulica, es decir, el mantenimiento de un flujo estrictamente subsuperficial, sin la creación de cortes de flujo rápido entre entrada y salida.

Figura 52
Humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal y vegetación emergente, en este caso *Phragmites australis*



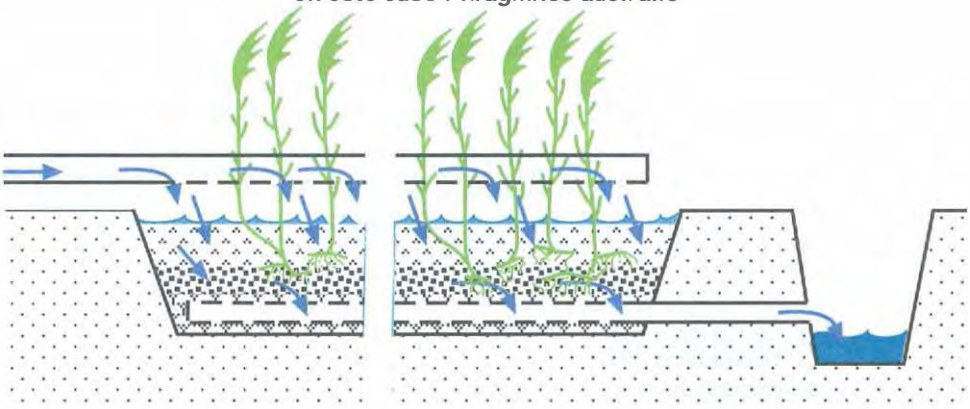
Dibujo basado en Vyzamal *et al.*, 1997.

Humedales de flujo subsuperficial vertical

Los humedales artificiales con flujo vertical y cargas intermitentes se están convirtiendo en la solución estándar, con superficie necesaria de menos de 3 m² por persona para aguas

negras. La superficie puede reducirse todavía si sólo se purifican las aguas grises. Como las aguas grises no contienen materia fecal, el área requerida es estimada en sólo 1 m² por persona (Beneke & Von Seggern, 2003). Otros autores como Bahlo (1999) insisten en superficies mínimas de 3 m² por persona para garantizar que el sistema no se colme. Técnicamente, los humedales con flujo vertical son más sofisticados, y más costosos en su implementación, que los humedales de flujo horizontal.

Figura 53
Humedal artificial con flujo subsuperficial vertical y vegetación emergente, en este caso *Phragmites australis*



Dibujo basado en Vyzamal *et al.*, 1997.

Generalmente, se recomiendan dos sistemas en paralelo y se alterna la aplicación de aguas servidas en un ritmo semanal o de dos semanas. Los intervalos de bombeo hacia los estanques de flujo vertical son de aproximadamente 1 a 2 minutos y 2 a 10 intervalos por día. Para plantas de tratamiento de aguas mixtas, Wagner (2003a) recomienda un bombeo de 5 a 20 minutos no más de nueve veces por día. Por los intervalos en la aplicación de las aguas servidas, en un filtro arenoso de 1 m de profundidad, se establece un estado de saturación de agua en los 10 a 30 cm sobre el fondo. En la columna de sustrato no saturado se tiene un intercambio de aire con la atmósfera, que se favorece por la aplicación intermitente y mejora sustancialmente los procesos de degradación. La capacidad de filtración es generalmente 60 l/m² por día, en sistemas que sólo reciben aguas servidas. (Bahlo, 1999).

Los humedales verticales requieren más desnivel en el terreno que los humedales de flujo horizontal.

Figura 54
Humedal artificial de flujo vertical
Planta de purificación Reidelbach, Alemania

Fuente: Franzen, 2003.

Combinación de lagunas y humedales

Actualmente, en Europa se están estudiando las características de sistemas combinados entre lagunas de estabilización y humedales artificiales para optimizar la capacidad de amortiguación de las cargas hidráulicas y la eficiencia en el proceso de purificación.

Por su superficie extendida, las lagunas tienen una gran capacidad de amortiguación de altas cargas hidráulicas. Se observa un buen rendimiento en la reducción de cargas orgánicas y una alta capacidad de desnitrificación, mientras que los humedales tienen ventajas especiales en la eliminación de microorganismos patógenos y en la nitrificación de las sustancias nitrogenadas, evitando de esta manera las concentraciones elevadas de amonio en el efluente, lo que es altamente tóxico para la fauna acuática y principalmente para peces. Así, las aguas efluentes tendrían calidad de aguas para la recreación y la natación. Dependiendo del diseño morfológico de las lagunas y humedales, y de la plantación de las riberas con macrófitas, estos sistemas naturales se pueden integrar al paisaje, servir como biótopo para flora y fauna, y utilizarse como áreas verdes de recreo para la población, incluyendo lagunas finales aptas para la natación. (Beneke *et al.*, 2003).

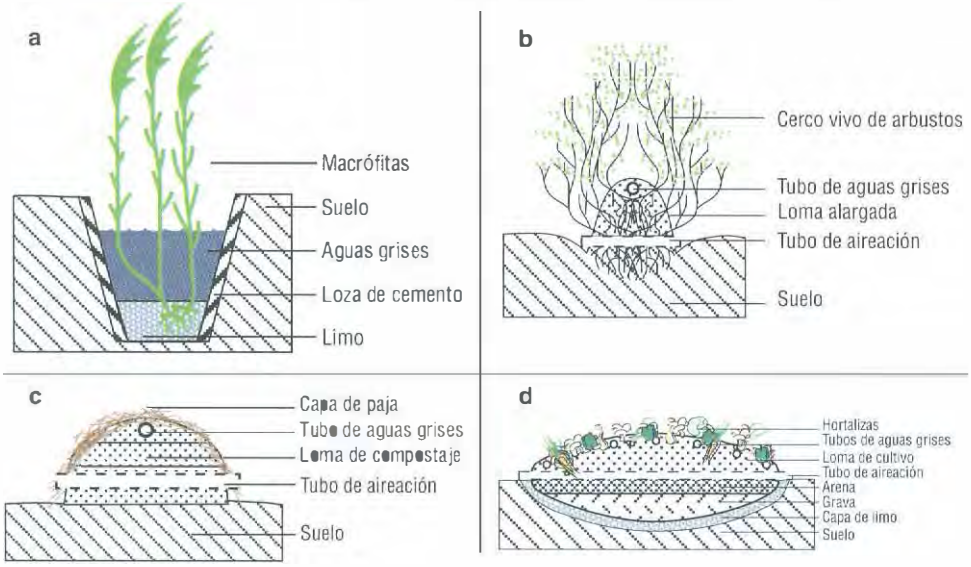
Humedales de superficie mínima para el tratamiento de aguas grises

En la ciudad de Berlín se ha creado un proyecto modelo de humedal de flujo subsuperficial vertical para la purificación de aguas grises, sobre la pared de un edificio de unos 25 m de altura, para comprobar que estos sistemas también se pueden integrar al ambiente urbano densamente edificado (Zeisel, 1999). El edifico Prisma en Nuremberg, Alemania, también usa macetas colgadas en la pared para el tratamiento de aguas (ver estudio de caso, capítulo VIII, subtítulo 1.1.9.).

A continuación se proponen cuatro sistemas simples de tratamiento de aguas grises (sin heces) de tamaño mínimo para viviendas individuales, que logran una integración de la purificación de las aguas al jardín (figura 55).

1. Humedal artificial en forma de canal, con macrófitas emergentes plantadas (carrizo, juncus, totora, otros).
2. Cerco de arbustos en loma alargada, con riego por tubo incluido en la parte superficial.
3. Loma de compostaje, con riego por tubo incluido en la parte superficial.
4. Cultivo elevado de hortalizas sobre loma regada por tubo incluido en la parte superficial.

Figura 55
Sistemas simples de riego con aguas grises, para jardines de viviendas



a: canal de purificación con plantas acuáticas emergentes. b: loma alargada con cerco vivo. c: loma de compostaje. d: loma de cultivo de hortalizas. Dibujos basados en Krusche *et al.* 1982.

2.3. Producción de biogás

Los sistemas para la generación de biogás sólo tienen sentido cuando se generan cantidades mayores de desechos orgánicos en la agricultura, en urbanizaciones relativamente grandes y en barrios de ciudades.

Las plantas de biogás se pueden conectar para formar unidades pequeñas, son higiénicas y generan un abono excelente. Prerrequisito es una red corta de ingreso, con pendiente y posibilidad de control contra vertidos anónimos eventuales de contaminantes. Son más sofisticados en comparación con los inodoros ecológicos y el tratamiento de aguas servidas en lagunas y humedales, pero adicionalmente generan energía en forma de gas metano. Como se debe compostar el lodo secundariamente, después de su salida de la planta de biogás, en el lugar se necesitan terrenos para este efecto. Alternativamente se puede ceder el lodo a jardinerías o agricultores cercanos.

Figura 56
Planta de biogás en Cuba, consiste en un túnel de material plástico resistente, con la entrada y salida formadas por tubos de cemento

Fuente: Werner *et al.*, 2003.

También se puede combinar las plantas de biogás con otros métodos de tratamiento de aguas, si se instala un separador de lodos para las aguas servidas. El lodo retenido puede introducirse sin problemas a la cámara de biogás. De la misma manera se puede acoplar las aguas servidas domésticas a ganaderías u otras instalaciones, donde la implementación de una planta de biogás es rentable y aconsejable.

La producción de biogás se ha instalado en la mayoría de los países, en especial para la fermentación de excrementos animales en la agropecuaria, pero también se aplica ya en varios proyectos ECOSAN en países industriales y países en desarrollo (ver estudios de caso). En los países en desarrollo, muchas veces existen metodologías de muy bajo costo, por ejemplo, en Cuba (figura 56).

2.4. Riego con aguas grises

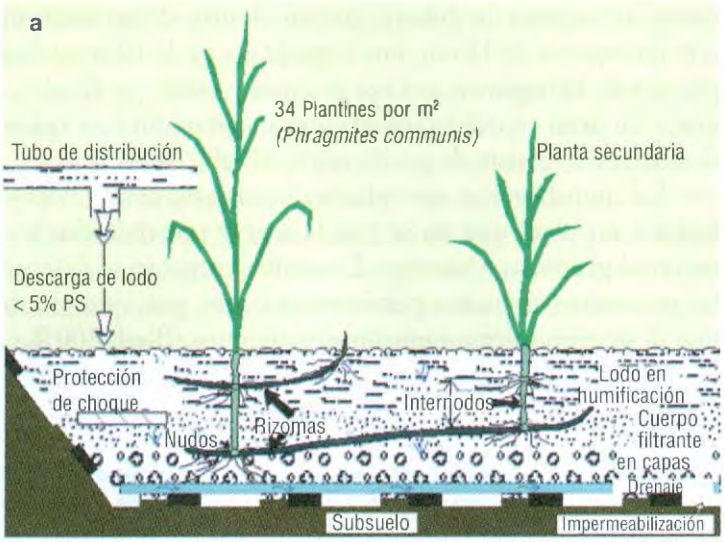
Las aguas grises comprenden aproximadamente el 70% del volumen total de las aguas servidas municipales, en un sistema convencional, pero sólo contienen 40% del DBO_5 y menos de 10% de la carga de nitrógeno. La relación entre DBO_5-N-P es aproximadamente 100-4-1, lo que posibilita su tratamiento biológico sin adición de nutrientes (Muellegger *et al.*, 2004). Los humedales construidos son apropiados para su tratamiento y en caso de tener suficiente superficie de áreas verdes, con declive, también se pueden utilizar directamente para el riego.

El sistema de reciclaje directo de aguas grises es un sistema simple de riego, que reutiliza el agua en la irrigación de las plantas y árboles del jardín. El sistema es fácil de instalar y funciona por gravedad. El agua servida se usa inmediatamente después de su producción, no se almacena en tanques para evitar el crecimiento de microorganismos y olores producidos por el desarrollo de la flora microbiana. El requisito más importante es que las áreas regadas estén a un nivel más bajo que las fuentes de las aguas grises. Las aguas grises se distribuyen por un sistema de tubos hacia las áreas de irrigación del jardín. El agua proveniente de la cocina se filtra primero por un separador aeróbico de grasas. Este filtro consiste en una caja rellena con material orgánico filtrante, como aserrín, paja y turba, lo que detiene los restos de comida, las grasas y aceites. Éstos se descomponen de manera aeróbica sobre el filtro. Se puede ayudar al proceso de descomposición con la introducción de lombrices. Este tipo de separador de grasas no produce olores desagradables y no produce lodos. El mantenimiento del filtro es de alrededor de media hora anual para aumentar el sustrato de filtración. No se requiere el vaciado del filtro. (Ludwig, 1994, 1995, 2002; <www.greywater.com.au>).

2.5. Estabilización y humificación de lodos

Durante los procesos de purificación se forman generalmente grandes cantidades de lodos, en especial en el pretratamiento (sedimentación y filtración de sólidos), pero también en algunos procesos de tratamiento principal.

Figura 57
Planta de deshidratación y humificación de lodos de depuración, mediante *Phragmites*



a: esquema de funcionamiento (PS = Peso seco)
b: planta de humificación de lodos en Niederlosheim. Alemania
c: sustrato humificado, con rizomas de *Phragmites*
Fuente: Bleif, 2003.

Si los lodos no contienen tóxicos, lo que se espera en aguas residuales domésticas, todos los lodos pueden ser usados, en combinación con otros desechos orgánicos, en la producción de biogás o compost.

Lodos demasiado líquidos se deben espesar y/o secar antes de su uso. Los métodos convencionales de prensado y centrifugación necesitan grandes inversiones en su implementación y también para su operación, por su alta necesidad de energía. Por otro lado, sólo logran un contenido de 30 a 35% de peso seco.

Los sistemas de secado más prometedores son el secado solar de los lodos y el secado natural por el uso de plantas helófitas como *Phragmites*, que tienen un alto grado de evapotranspiración. El secado mediante la vegetación tiene la gran ventaja de humificar el lodo, por la acción de las raíces y el desarrollo de la micro- y macrofauna edáfica, produciendo de esta manera un sustrato rico

en nutrientes y de estructura ideal para su uso en la agricultura y la forestación (ver también capítulo VIII, subtítulo 2.2.1.).

Los estanques de humificación de lodos consisten en un estanque de concreto, un sistema de drenaje aireado dentro de un sustrato de drenaje de grava con un espesor de 15 cm, una capa de arena de 10 cm, y los carrizos. Se prefiere plantas de *Phragmites*, por sus rizomas y raíces profundos, que penetran los lodos, y su gran capacidad de evapotranspiración. Las aguas de drenaje se llevan de vuelta a la planta de purificación. (Bleif, 2003).

La humificación con plantas acuáticas, como *Phragmites*, deshidrata los lodos a un nivel que no se puede lograr por métodos técnicos, y produce un material grumoso y humoso. Durante el proceso se descomponen parcialmente las sustancias orgánicas persistentes como, por ejemplo, bifeniles policlorados y se destruyen microorganismos patógenos (Bleif, 2003).

VII

Manejo de aguas pluviales

La lluvia cae sobre todos. ¡El manejo de las aguas pluviales es la llave para el futuro!

1. Problemas actuales

Manejo convencional de aguas pluviales

Tradicionalmente se entiende como "manejo de aguas pluviales" a la entrada de las aguas pluviales colectadas de los techos y de las superficies selladas (patios, parqueos, vías de tráfico) a una red de alcantarillado. El desagüe mediante canalización lleva las aguas pluviales directa- y rápidamente hacia los cuerpos receptores. Se distinguen sistemas mixtos en los que se colectan las aguas servidas y las aguas pluviales de escurrimiento conjuntamente por el mismo canal, y sistemas separados que llevan las aguas pluviales en una red separada, aparte de las aguas servidas. En el primer caso, todas las aguas entran a la planta de tratamiento de aguas servidas, en el segundo las aguas pluviales se evacuan directamente a un cuerpo receptor.

Este método clásico significa cierta comodidad para los habitantes de un área poblada, por ejemplo, vías de tráfico secas y buenas condiciones higiénicas, inclusive después de largas precipitaciones. La operación y el mantenimiento públicos garantizan la seguridad y la comodidad para la población.

Uno de los argumentos contra la infiltración local y directa de las aguas de lluvia es su contaminación con sustancias lavadas de techos y calles (ver capítulo VII, subtítulo 4) y la protección de las aguas subterráneas contra ésas. Por otro lado, se ha comprobado que la canalización de las aguas pluviales y las plantas centralizadas de tratamiento no constituyen ninguna garantía para evitar entradas dañinas a las aguas subterráneas. Existen altos riesgos por permeabilidad en los tubos y los cuerpos de agua superficiales se encuentran en intercambio con

las napas freáticas, así que sustancias contaminantes pueden ingresar a las aguas subterráneas por las dos vías. Generalmente la agricultura constituye un riesgo de polución mucho mayor, para los suelos y las aguas subterráneas, que la infiltración directa de aguas de escurrimiento levemente contaminadas. La meta principal en la protección de las aguas subterráneas debería ser más bien su protección contra la filtración de fertilizantes y pesticidas industriales, y en especial procurar el cierre del ciclo de nitrógeno (ver también capítulo IV, subtítulo 4.).

Aparte de estas desventajas ecológicas, también existen razones económicas contra la canalización de las aguas pluviales. La eliminación de las aguas de lluvia en las canalizaciones es muy costosa, así que los métodos naturales de retención e infiltración de las aguas de escurrimiento en su lugar de origen son también una alternativa económica. (Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998; Manual M153 de ATV, 2000).

En Europa central, en las zonas rurales la red de alcantarillado es la parte más costosa del sistema de evacuación de aguas, pues abarca entre 70 a 90% del costo de los sistemas de drenaje y tratamiento de las aguas servidas, incluidas las aguas pluviales. En las áreas urbanas la relación no es mucho mejor. La cantidad de las aguas pluviales de escurrimiento en la red puede exceder la cantidad de las aguas servidas por más de 100 veces durante los picos de caudal, de modo que el porcentaje de agua pluvial en las redes de alcantarillado puede alcanzar hasta más de 90%. Si el agua pluvial se infiltra localmente, sólo las aguas residuales tienen que ser llevadas a la planta de purificación y se ahorran costos significantes, especialmente en la construcción de las redes de alcantarillado. (ATV, 1997).

Efecto de sellado de superficies

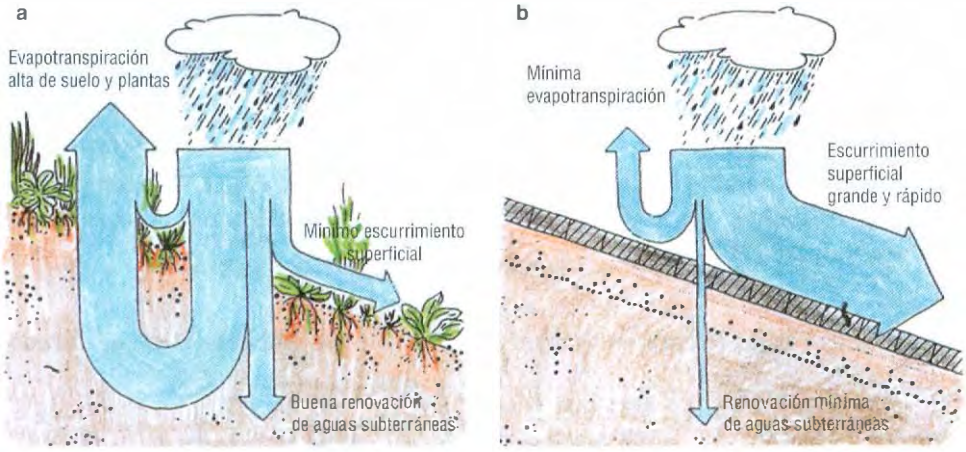
El sellado de las superficies en zonas urbanas y la red de canalización de aguas pluviales causan picos altos de caudal en los ríos receptores e inundaciones frecuentes de éstos. Otra desventaja de la canalización es que el agua ya no infiltra localmente, disminuyendo su disponibilidad para la renovación de las aguas subterráneas. Las napas freáticas descienden en su nivel debajo de las zonas pobladas grandes y en las zonas aledañas, lo que puede tener efectos en la vegetación y poner en riesgo el suministro de agua potable en las urbes. Además, impide la utilización de las aguas pluviales y, de este modo, el consumo de agua potable para el riego de jardines y áreas verdes públicas sube significativamente. (Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998; Manual M153 de ATV, 2000).

El ciclo de aguas, global, regional y local, es la base para el balance de aguas en la tierra. Una cuarta parte de la energía solar (radiación solar) mantiene 12.300 km^3 de agua en la atmósfera, la que precipita 40 veces al año

(ver también capítulo I). Las precipitaciones que caen a la superficie terrestre en un 37% se originan en el mar y en un 63% en la evapotranspiración de la superficie terrestre. En particular la transpiración de las plantas, en especial de los bosques, y su capacidad de retención de aguas, es importante para este proceso. A más agua retenida en el suelo, en las plantas y en los cuerpos de agua epicontinentales, más equilibrados y estables son el balance de aguas y el clima. (Krusche *et al.*, 1982).

En superficies no compactadas y con vegetación, las aguas de lluvia escurren en un 0 a 20%, el porcentaje de escurrimiento en techos y superficies asfaltadas o de concreto es de 90 a 100% (ATV, 1997). Un suelo de bosque almacena 50 l/m^2 de agua (Atelier Dreiseitl, 2002).

Figura 58
Escurrimiento, infiltración y evaporación de las precipitaciones sobre superficies naturales y selladas

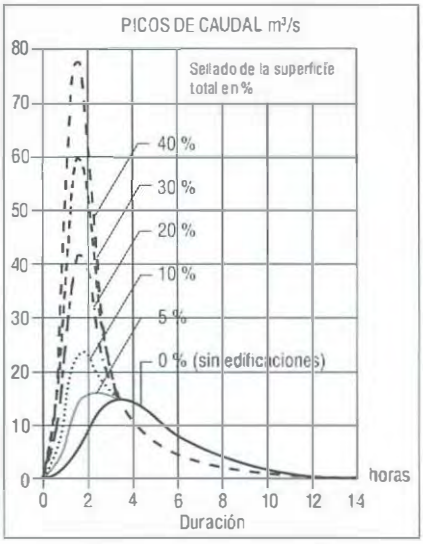


a: escurrimiento sobre superficies naturales; b: escurrimiento sobre superficies selladas.
Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

En superficies naturales con vegetación boscosa, hasta 50% de las aguas pluviales se infiltra al suelo, 25% se infiltra de manera superficial y 25% profundamente. La evapotranspiración es de 40% y sólo el 10% de las aguas escurre superficialmente. En una zona edificada con 75 a 100% de sellado de suelo, la infiltración es de sólo 15% y 5% se infiltra profundamente, 30% de las aguas se evapora y 55% escurre por la superficie. Esto origina inundaciones frecuentes en los cuerpos de agua receptores y erosión en sus riberas. (Tourbier, 2000).

El escurrimiento y las cargas hidráulicas en los cuerpos receptores aumentan drásticamente con el sellado de superficies y la evacuación directa de las aguas de lluvia por la red de alcantarillado.

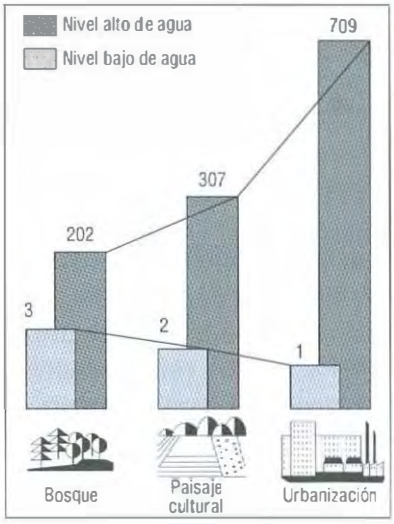
Figura 59
Picos de caudal en un río, después de tormentas, con diferente grado de sellado de superficies en su cuenca



Fuente: Geiger & Dreiseitl, 2001

En periodos con poca precipitación, partes de los cuerpos de agua pueden secarse totalmente, un fenómeno que se conoce normalmente sólo en zonas áridas y semiáridas.

Figura 60
Aguas altas y bajas (caudal en l/s x km²) en paisajes con diferente grado de sellado



Fuente: Emschergenossenschaft. 1993. citado en Koenig, 1996.

En zonas urbanas, los cambios en los niveles de las napas freáticas generalmente son causados por la canalización de los cuerpos de agua, construcciones de edificios (bombeo de las aguas subterráneas durante la fase de construcción), tasa mínima de infiltración y uso de las napas freáticas para la generación de agua potable. El sellado de los suelos aporta mucho en el descenso de las napas freáticas. (Wessolek & Renger, en Sukopp & Wittig, 1998).

Menos sellado significa menos problemas de cantidad para el cuerpo receptor porque los picos de carga pueden ser minimizados por el suelo. Una superficie de 500 m^2/ha (= 5%) de suelo sellado todavía no tiene influencia detectable en la tasa de renovación de las aguas subterráneas. A partir de este valor, la tasa de renovación disminuye, pero no se puede establecer una relación cuantitativa general. Un alto grado de sellado significa también altos esfuerzos técnicos en el drenaje.

Especialmente para zonas urbanas densamente pobladas, se tiene como efectos: sellado de superficies de gran extensión; empeoramiento cualitativo del balance de aguas, del clima urbano, de la flora y fauna, y del porcentaje de áreas urbanas verdes y libres. Finalmente, el sellado extenso afecta, por la pérdida de calidad ambiental, también el atractivo de zonas residenciales e industriales.

Nuevos estudios han demostrado que las interrelaciones múltiples de efectos entre el sellado del suelo, por un lado, y los daños en el balance natural, por otro, se pueden cuantificar exactamente sólo en pocos casos. Especialmente el límite superior deseable de la tasa de sellado no se puede deducir de forma general. Por otro lado, los conocimientos actuales son suficientes para describir los efectos cualitativos de una disminución del grado de sellado urbano.

En conclusión, el mantenimiento y el incremento de la tasa de renovación de las aguas subterráneas, la estabilización de los caudales de tormenta, la amplificación del porcentaje intraurbano de superficies reguladoras efectivas para el clima, y la protección de especies animales y vegetales en la ciudad dependen principalmente de un suelo abierto y mayormente cubierto de vegetación dentro de las zonas pobladas. (FIRU, 1990; Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994).

Contaminación de aguas pluviales

Los escurrimientos de aguas pluviales no sólo constituyen la parte más importante de las aguas servidas desde un punto de vista cuantitativo, sino también desde un punto de vista cualitativo. Son un riesgo para el balance hídrico de las aguas corrientes y para la calidad de los cuerpos de aguas superficiales (Sieker, 2003).

Como el agua pluvial escurre por superficies contaminadas, como los techos de las edificaciones y en especial las vías de tráfico, lleva grandes cantida-

des de contaminantes hacia los cuerpos receptores de agua (Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998). Por su contaminación, se considera agua servida y generalmente su eliminación se regula por leyes y normas aplicables a este tipo de aguas. En general, los responsables para la eliminación de las aguas pluviales son los municipios.

Por el escurrimiento rápido, se disminuyen drásticamente los procesos de purificación en este camino, lo que puede conducir a una carga adicional de contaminantes en los cuerpos de agua. Por otro lado, durante los picos de caudal en los ríos mismos, después de eventos de tormenta, disminuye significativamente la capacidad de autopurificación de estos ecosistemas. En resumen, por la evacuación rápida de las aguas de escurrimiento entran más contaminantes a los cuerpos de agua superficiales y, al mismo tiempo, baja su capacidad de autopurificarse.

Para disminuir los rebalses de la canalización mixta sin purificación hacia los cuerpos receptores durante eventos de tormentas, se construyen estanques de retención que descargan sus aguas hacia las plantas de purificación en un tiempo retardado. Para estos "estanques de embalse de aguas pluviales" se necesitan grandes inversiones. Su volumen en Europa central es de 10 - 40 m^3 por hectárea de superficie sellada (Lehn, 2002). En realidad, estos estanques sólo reducen la frecuencia de rebalses hacia los cuerpos receptores. Varios estudios han demostrado que disminuyen la carga de sustancias hacia los ríos sólo entre 5 a 25% (Lange & Otterpohl, 2000).

Los contaminantes en el agua de escurrimiento de techos, calles y carreteras son generalmente grandes cantidades de metales pesados, petróleo y derivados de petróleo, abrasión de frenos, llantas, asfalto y otros. El cobre, plomo y zinc son los contaminantes más importantes en las aguas de escurrimiento (Voss, 1999-2000).

Tabla 20
Lavado de metales pesados de superficies selladas

Cargas de metales pesados en g/(ha x año)	
Cadmio	15
Cromo	13
Cobre	200
Níquel	30
Mercurio	1.5
Plomo	120
Zinc	1.500

Los cálculos se realizaron en base a los contenidos en lodos acumulados en lagunas de retención de aguas pluviales en Alemania.
Fuente: Voss, 1999

Tabla 21
Lavado en techos metálicos

Carga de metales pesados	Lavado en g/(m² x año)		Concentración en mg/l
	Diluido	Total	Promedio
Techo de cobre (nuevo) 1992 - 1993	3,8	4	5,6
Techo de plomo (viejo) 1993	7	8,5	12
Zinc	-	4,5	7

Fuente: Voss, 1999.

La parte diluida de cobre y plomo aumenta con la duración de la lluvia. En los techos de zinc se tiene que tomar en cuenta que este metal siempre está acompañado por cadmio, un metal pesado altamente tóxico (Voss, 1999).

En resumen, las *desventajas del sistema convencional de evacuación de las aguas pluviales de escurrimiento* son las siguientes:

- Altos costos para la red de alcantarillado, las plantas de tratamiento de aguas servidas, las lagunas centralizadas de retención y las plantas especiales de tratamiento de las aguas pluviales.
- Disminución de la evapotranspiración e infiltración de las lluvias.
- Aumento del escurrimiento superficial.
- Interrupción del balance local natural de aguas.
- Disminución de la renovación de las napas freáticas.
- Desbalance hidráulico en los cuerpos receptores (estrés hidráulico por la entrada puntual de altas cantidades de agua).
- Riesgo de inundaciones.
- Riesgo de secado de vertientes y riachuelos, con la correspondiente pérdida de flora y fauna.
- Carga hidráulica alta en plantas de tratamiento.
- Disminución en la efectividad de las plantas de purificación durante precipitaciones fuertes.
- Incremento de las cargas de contaminantes introducidas a los cuerpos de agua mediante las plantas de tratamiento, por rebalses.
- Requerimiento de tratamiento especial de aguas pluviales de escurrimiento.
- Alteración del balance calorífico.
- Microclima más seco.

2. Manejo descentralizado de aguas pluviales

En el pasado, el objetivo era eliminar el agua de lluvia de manera efectiva y rápida. Actualmente hemos llegado al punto donde este concepto de drenaje sólo se puede mantener mediante altas inversiones y con grandes daños eco-

lógicos. Incluso en países industrializados se registran problemas de capacidad de la red de evacuación, a causa de la construcción de urbanizaciones nuevas, que no pueden resolverse con ampliaciones constantes de la red por la situación financiera de los municipios. La eliminación descentralizada de las aguas pluviales es además una ganancia para el balance de aguas y un aporte a la protección contra inundaciones. Por este motivo, se tiene que cambiar el paradigma del principio de la descarga total y rápida de las aguas pluviales hacia el principio de la retención máxima para el manejo sostenible del agua en las zonas pobladas. La justificación de este cambio de paradigma se basa en su sostenibilidad ecológica, social y económica. (Freie und Hansestadt Hamburg 2000, Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994; Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f]).

Uno de los pasos en esa dirección son los sistemas urbanos modificados de alcantarillado, que prevén la retención e infiltración de las aguas pluviales no contaminadas en forma descentralizada, y la evacuación de las aguas pluviales contaminadas a los sistemas existentes de alcantarillado y su tratamiento correspondiente.

Evitar el escurrimiento es mejor que la desviación controlada de las aguas de escurrimiento. El primer paso hacia un manejo descentralizado de las aguas de lluvia es el sellado mínimo de los terrenos en construcción, y la evaluación de las superficies impermeables y compactadas existentes, además de su posible desellado. El mejor método de control para el municipio es la evaluación del grado de sellado mediante fotos aéreas durante la época de invierno y el establecimiento de tarifas reducidas en el pago de aguas pluviales para superficies permeables, lo que ya se implementó en algunas ciudades del hemisferio norte. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f]).

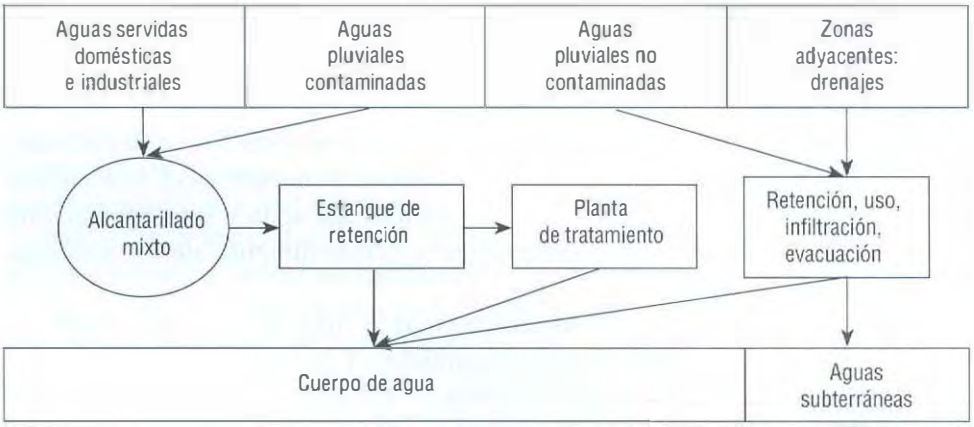
En los Estados Unidos, el Clean Water Act del año 1972 ya implementó las bases para un cambio en el manejo de aguas pluviales. Se elaboró varios manuales para ingenieros, planificadores y personas decisivas en las municipalidades, con el fin de aplicar métodos sostenibles en el manejo de las aguas pluviales. Así se crearon sistemas para la bioretención de aguas y la filtración de sustancias contaminantes y nutrientes contenidas en estas aguas, mucho más temprano que en los países europeos. (Tourbier, 2000).

En Alemania, la legislación ha cambiado sustancialmente en los últimos años. Los reglamentos cambiaron en sentido de que las aguas pluviales tienen que manejarse dentro del terreno propio, dependiendo de las posibilidades, y en caso contrario se tiene que pagar tarifas altas para su descarga a la red de alcantarillado. De esta manera, se ha creado la base legal para desconectar las aguas pluviales de la red de alcantarillado, lo que disminuye sustancialmente los costos de construcción y mantenimiento de las redes de alcantarillado y de las plantas de purificación.

También disminuyen los costos de operación de las plantas de bombeo (Dohmann & Hamacher, 1996; Nolde, 2002).

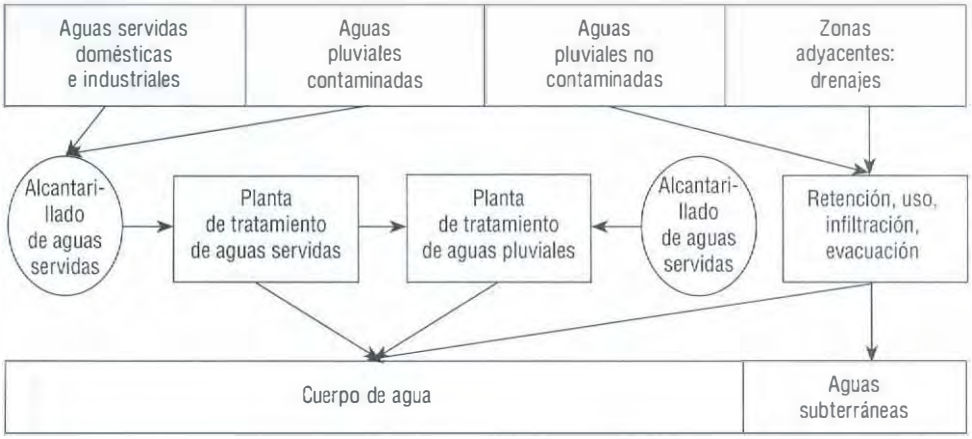
La implementación de sistemas de manejo descentralizado de las aguas pluviales no es una pregunta técnica, sino de aceptación a nivel comunal, se refiere a la toma de conciencia por parte de la población y a la planificación urbana con su reglamentación correspondiente. Las medidas adecuadamente integradas en el desarrollo urbano, con un buen diseño, mejoran significativamente la calidad de vida de los ciudadanos. (Tourbier, 2000).

Figura 61
Red de alcantarillado mixto modificado



Basado en Ministerium Fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f].

Figura 62
Red de alcantarillado separado modificado



Basado en Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f].

La construcción de sistemas descentralizados de infiltración de aguas pluviales no se restringe a zonas de edificaciones nuevas, sino puede ser usada también para el saneamiento o reducción de carga hidráulica en redes de alcantarillado existentes (Dohmann & Hamacher, 1996).

La tarea prioritaria del "manejo de aguas pluviales" en zonas urbanizadas es evitar el escurrimiento de las aguas pluviales en cada caso donde sea posible. La disminución de superficies selladas, la infiltración y/o la descarga retardada, lo más natural posible, sirven para aguas pluviales de escurrimiento poco contaminadas. Para las aguas contaminadas de escurrimiento pueden crearse sistemas descentralizados de tratamiento o se pueden mezclar con las aguas domésticas para su tratamiento conjunto en plantas de tratamiento de aguas servidas. (Uhl, 1999).

El manejo de las aguas pluviales corresponde con el principio de evitar problemas en la protección ambiental y apoya el desarrollo ecológico de las zonas urbanizadas (Uhl, 1999).

Para el manejo de las aguas pluviales se toman como base los ciclos naturales del agua en un ecosistema. El arte de la planificación natural es el de acercarse al máximo posible al equilibrio del ciclo natural del agua y simultáneamente minimizar el esfuerzo de implementación y mantenimiento de los sistemas. (Manual M153 de ATV, 2000).

Principalmente, se debe almacenar, usar o infiltrar las aguas de lluvia cerca de su lugar de origen. El almacenamiento y la infiltración de las aguas pluviales, por principio, son ecológicamente ventajosos para el suelo, el equilibrio en el balance de aguas, para animales y plantas, así como a la imagen y estética de la ciudad (Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994).

El manejo de las aguas pluviales, dependiendo de las condiciones y metas locales, combina (según Uhl, 1999; Manual M153 de ATV, 2000; Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994; Ellwart, 2000; Uhl, 2003 a):

- La minimización de superficies selladas mediante formas de construcción que ahorran superficie; la construcción de edificaciones nuevas sin superficies selladas adicionales; la remodelación de edificaciones existentes con este mismo criterio; y/o el uso de materiales permeables para agua.
- La eliminación y alteración de superficies selladas (por cambio de materiales en superficies selladas e implementación de techos verdes).
- La limitación de la construcción de vías de tráfico en zonas residenciales.
- La inclusión de anchas franjas verdes, superficies con vegetación, y plantaciones de árboles y arbustos al borde de las vías de tráfico para aumentar la evapotranspiración y la infiltración.

- El drenaje del agua pluvial de forma abierta en canales y acequias hacia las superficies de infiltración.
- La infiltración de aguas pluviales (por distintos métodos).
- El uso de aguas pluviales (por recolección y almacenamiento de aguas pluviales en cisternas, y su uso en riego, limpieza e inodoros).
- El almacenamiento previo de las aguas pluviales, por la naturación de techos, en pequeños depósitos descentralizados, en humedales artificiales, en lagunas de retención y en cuerpos de agua naturales y renaturados.
- La implementación de superficies centralizadas de infiltración y retención, si no es posible la infiltración local.
- El tratamiento descentralizado de aguas pluviales contaminadas cerca al lugar de origen (tanques de sedimentación, humedales artificiales).

Todos los depósitos de almacenamiento necesitan un rebalse retardado y controlado hacia un sistema de infiltración o de drenaje (Manual M153 de ATV, 2000).

Efectos del manejo de las aguas pluviales (según Uhl, 1999):

- *Sistema de drenaje*: minimización de construcción de nuevos sistemas de drenaje, disminución de la carga en redes de alcantarrillado existentes, incluyendo sus estaciones de bombeo y los estanques eventuales de retención de aguas pluviales, disminución de las emisiones de los alcantarillados mixtos y separados.
- *Cuerpos de agua*: disminución de la carga de contaminantes por sistemas de drenaje, disminución de los picos de caudal, aumento del caudal durante las sequías, es decir, se aumenta el equilibrio en el balance de aguas.
- *Balance de agua de la zona*: mejoramiento sustancial de la renovación de las napas freáticas, mantenimiento del balance de aguas en el suelo local, mayor evapotranspiración, ahorro de agua potable por el uso de las aguas pluviales.
- *Diseño de las áreas urbanas*: integración de las aguas pluviales en el diseño de plazas, jardines y áreas verdes.

Por la infiltración de las aguas de lluvia en el suelo se disminuye significativamente el escurrimiento superficial, al mismo tiempo que aumenta la evapotranspiración por el suelo y las plantas, así como la renovación de las aguas subterráneas. Esto implica el mejoramiento del balance de aguas en el suelo y el mejoramiento del microclima. El drenaje hacia los cuerpos de agua superficiales se equilibra, lo que protege los cuerpos de agua contra la desecación y contra sobrecargas durante aguas altas. Se disminuyen las cargas pico de caudal y los ingresos de contaminantes por el escurrimiento. Se disminuye el rebalse de la canalización mixta, lo que también disminuye la carga de contaminantes. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

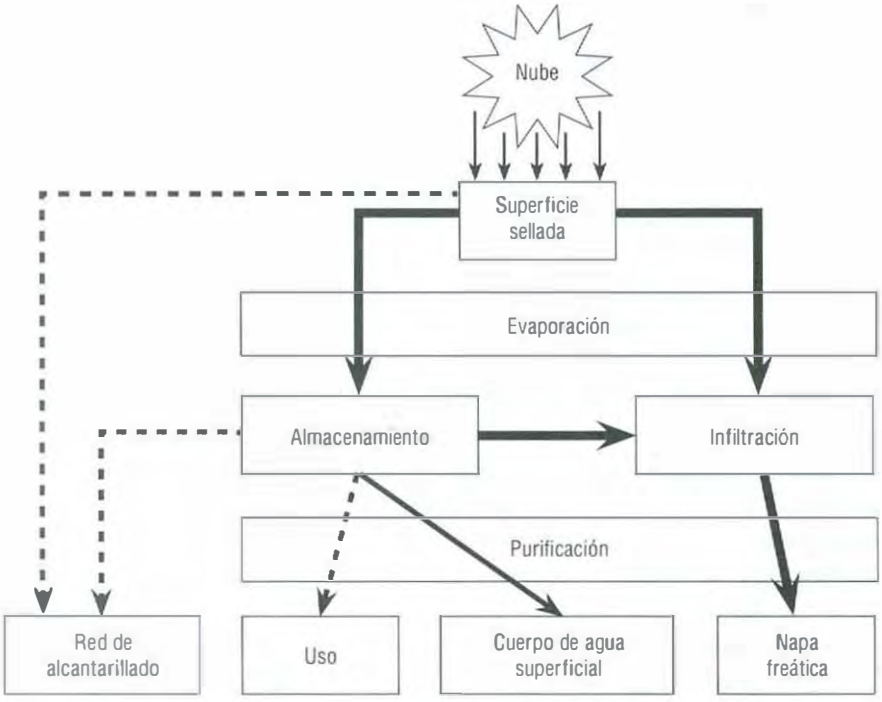
El concepto descentralizado no reemplaza totalmente la red central de alcantarillado y los sistemas de descontaminación, pero es un aporte para la disminución de los problemas causados por los sistemas centralizados, los que pueden llegar a tener dimensiones menores (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

3. Retención e infiltración de aguas pluviales

La retención e infiltración de las aguas pluviales sustituyen el camino natural del agua, y tienen varias ventajas ecológicas y económicas. Aportan a la renovación de los mantos freáticos, al equilibrio en el balance de aguas de los cuerpos de agua aumentando el nivel de estiaje y evitando los picos altos de caudal, a la disminución de la contaminación de las aguas superficiales y al mejoramiento del microclima, además de ahorrar costos en la evacuación y el tratamiento de las aguas servidas.

Las medidas más importantes de manejo de las aguas pluviales para la minimización del escurrimiento superficial, la retención local de las aguas pluviales y la disminución del uso de la red de alcantarillado, son las siguientes:

Figura 63
Esquema de manejo de aguas pluviales a nivel local



Fuente: Londong, 1996.

- Minimización del sellado.
- Naturación de techos de forma intensiva y extensiva (ver también capítulo VII, subtítulo 5).
- Medidas para la infiltración de aguas pluviales.
- Uso de las aguas de lluvia para inodoros, lavadoras, riego etc. (ver capítulo IV, subtítulo 3.1.).
- Retención de las aguas pluviales, con evacuación retardada.

Antes de instalar cualquier medida de manejo de las aguas pluviales se deben considerar varios factores (según Freie und Hansestadt Hamburg, 2000):

- ¿Cuánta superficie de terreno está disponible para el manejo de las aguas pluviales?
- ¿Qué forma y morfología tiene el terreno?
- ¿Qué calidad tiene el agua de lluvia? La calidad del agua pluvial depende en gran medida de las superficies de escurrimiento.
- ¿El terreno se ubica en un barrio residencial, industrial o en una zona de protección de aguas?

Tabla 22
Evaluación de diferentes medidas de manejo descentralizado de las aguas pluviales en base a sus efectos sobre el sistema de drenaje completo

Medidas de retención descentralizada	Sistema de drenaje			Cuerpo receptor		Aguas subterráneas	
	Minimización de carga hidráulica en la red de alcantarillado	Reducción de rebalses de aguas mixtas	Minimización de carga en plantas de purificación bajo uso de sistema mixto	Reducción de riesgo de aguas altas	Mejoramiento de la calidad de agua	Renovación de aguas subterráneas	Protección de las aguas subterráneas contra contaminación
Minimización de superficies selladas	+	+	+	+	+	+	+
Sistema separado de alcantarillado	+	+	+	-	+	-	+
Depósitos pequeños descentralizados (menor 1 m³)	o	o	o	-	o	-	+
Naturación de techos	+	+	+	+	+	-	+
Uso de aguas pluviales en vivienda y jardín	o	o	o	o	o	-	+
Infiltración descentralizada por:							
– Superficies planas	+	+	+	+	+	+	+
– Depresiones	+	+	+	+	+	+	+
– Zanjas de grava (*Rigolen*)	+	+	+	+	+	+	+
– Pozos	+	+	+	+	+	+	o
– Sistema combinado de depresiones con zanjas de grava	+	+	+	+	+	+	+

- sin efecto
o posible efecto
+ efectivo

Fuente: Dohmann & Hamacher, 1996.

- ¿Existen cuerpos de agua superficiales con capacidad de recibir la descarga?
- ¿Qué permeabilidad tiene el suelo?
- ¿Qué profundidad tiene el nivel máximo de la napa freática?
- ¿En el terreno se encuentran pasivos ambientales?
- ¿En qué medida las precipitaciones pluviales se pueden minimizar por embalse e infiltración en el terreno, eliminación de superficies selladas y/o naturación de techos?
- ¿Qué medidas de manejo de las aguas pluviales se incentivan por subsidios o créditos estatales y/o con qué medidas se puede ahorrar costos de agua potable y aguas servidas?

Minimización del sellado

Evitar el escurrimiento es mejor que regularlo. La minimización del sellado es, por eso, la primera medida en el manejo de las aguas pluviales. Esto se puede lograr por varias medidas:

- Eliminación de edificaciones no usadas.
- Eliminación de superficies impermeables y su reemplazo por sustratos permeables o semipermeables.
- Implementación de sustratos y superficies permeables.
- Implementación de superficies con vegetación.
- Naturación de techos.

Superficies permeables

En zonas con gran parte de superficies parcialmente selladas, la tasa de renovación de las napas freáticas puede ser mayor que en terrenos agrícolas. Eso demuestra que no sólo el porcentaje de superficies no selladas es determinante para la renovación de las napas freáticas de una zona o región, sino que también ésta depende significativamente de las características de los materiales y de la estructura del suelo y subsuelo de la superficie parcialmente sellada. En base a estos estudios se puede recomendar lo siguiente (según Sukopp & Wittig, 1998):

- Uso de materiales permeables y/o de materiales con gran porcentaje de juntas.
- Uso de materiales mixtos de sellado, dejando vacíos para la infiltración.
- Limpieza regular mecánica, con escobilla dura, para mantener las juntas "abiertas", y evitar o retardar un taponamiento con polvo.

En todo caso, una superficie semipermeable de adoquín con subsuelo permeable permite mejor la entrada de las aguas de lluvia, que un suelo limoso, compactado superficialmente por tráfico vehicular o peatonal.

Tabla 23
Escurrimiento sobre distintas superficies

Material	Coeficiente de escurrimiento 0 = nada 1 = total
Pasto, naturación intensiva de techo	0,2 - 0.0
Cascajo con pasto	0,3 - 0.2
Saturación extensiva de techo	0.5 - 0.3
Rejillas de cemento con relleno de pasto	0,5 - 0,4
Losetas pequeñas con grandes juntas	0,6 - 0.5
Pavimento poroso aligerado	0.7 - 0.5
Losetas grandes con juntas abiertas	0.7 - 0.5
Empedrado o losetas con o sin aglomerante en las juntas	0.8 - 0,5
Hormigón y asfalto	0.9
Techos de metal o vidrio	0.95

Fuente: Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f].

La planificación de las superficies de vías, patios, áreas de parqueo y deporte, y áreas de recreación es la tarea más importante. Los sustratos y el revestimiento de estas superficies dependen del grado y tipo de uso de las distintas áreas. Principalmente se puede distinguir entre superficies con y sin vegetación incluida. La vegetación preferida es de gramíneas de bajo porte, que requieren las mismas medidas de mantenimiento que las áreas de pasto en jardines, especialmente un corte regular.

En áreas poco frecuentadas no es necesaria una superficie dura, sino sólo de grava, pasto, o pasto sobre cascajo; en casos de uso por automóviles, en especial maquinaria pesada, las superficies necesitan una capa superficial y subsuelo resistentes a estas cargas altas. Las capas pueden ser simplemente de cascajo compactado o losetas especiales con juntas o espacios especiales llenados de grava, con y sin inclusión de vegetación de bajo porte. También se ha desarrollado un asfalto permeable para estos fines, que es resistente al tráfico pesado. Importante es en cada caso la construcción adecuada del subsuelo (figuras 64 y 65).

Algunas posibilidades frecuentes de crear una superficie permeable son:

Cascajo con pasto: La superficie es una mezcla de tierra preparada con cascajo. Se siembra pasto y se compacta la superficie (figura 65c).

Cubierta de grava o ripio: La superficie es de grava o ripio con granulometría mediana homogénea y subsuelo permeable (figura 65a).

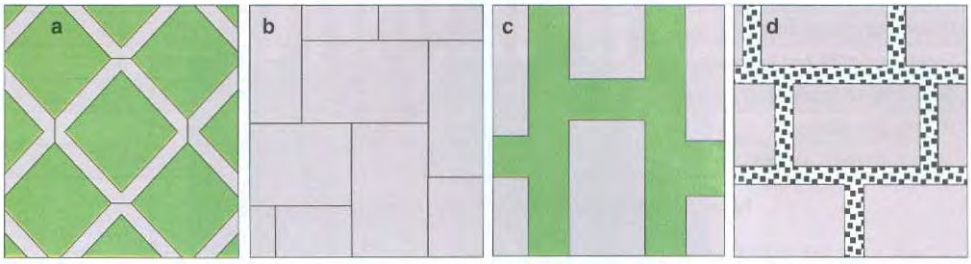
Rejillas de cemento con pasto: Se trata de rejillas prefabricadas de cemento de diferente forma, con aperturas llenas con tierra preparada y sembradas con pasto. La superficie verde abierta llega a más de 40% (figura 64a, 65c y 66).

Losetas o empedrado sin aglomerante en las juntas: Consiste en losetas, piedras cortadas o adoquín, en combinación con un llenado permeable de las juntas (figura 64b y 65b).

Losetas o empedrado con juntas de pasto: Se realiza generalmente con losetas especiales con elementos separadores de distancia. La parte de superficie abierta con pasto es de hasta 35% (figura 64c y 65c).

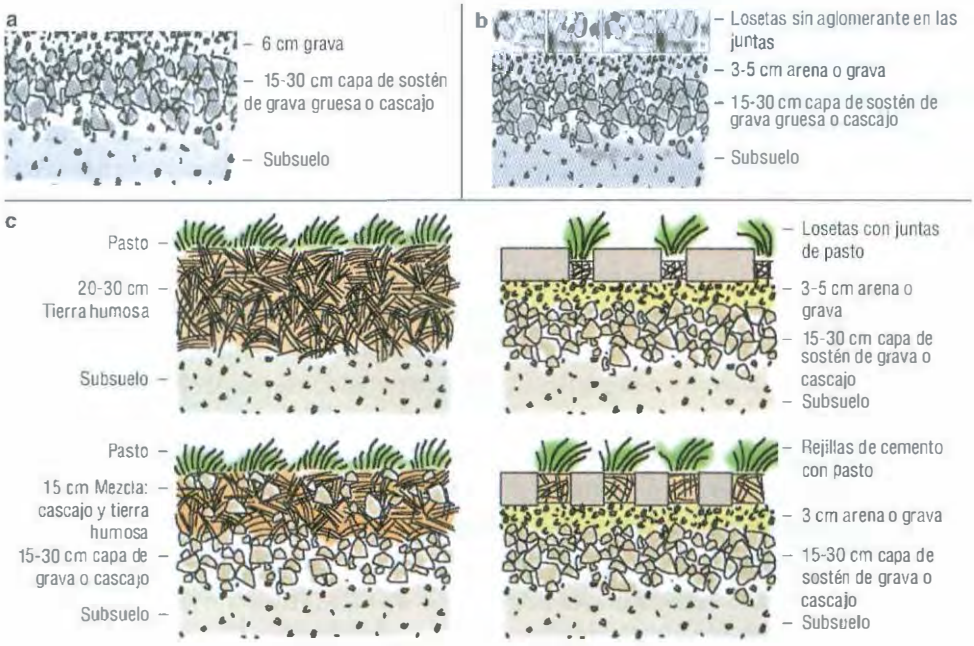
Losetas o empedrado con juntas de cascajo: Consiste en losetas o piedras cortadas con juntas estrechas, que se llenan de ripio o grava (figura 64d).

Figura 64
Superficies permeables



a: rejillas de cemento con pasto; b: loseta porosa sin aglomerante en las juntas; c: losetas con juntas de pasto d: losetas con juntas de cascajo.

Figura 65
Construcción de superficies permeables



a: capa de grava y cascajo; b: losetas sobre grava sin sellado de juntas; c: distintas superficies construidas, con vegetación. Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000

Figura 66
Superficie permeable (rejillas prefabricadas de cemento con pasto) para vías poco transitadas y áreas de parqueo en San Alberto, La Paz, Bolivia

Foto: Margot Franken.

Tabla 24
Aptitud de superficies permeables para diferentes usos

Uso de superficie	Cascajo con pasto	Cubierta de grava o ripio	Loseta porosa sin aglomerante en las juntas	Rejillas prefabricadas de cemento con pasto	Losetas o empedrado con juntas de pasto	Losetas o empedrado con juntas de ripio
Camino peatonal	+	+	+	-	o	o
Parqueo	+	+	+	+	+	+
Patio	o	+	+	-	+	o
Terraza	-	o	+	-	o	o
Calle	+	o	+	+	+	+
Entrada para autos	+	-	+	+	+	+
Camino de parque	o	o	+	-	+	+

+ apto
o medianamente apto
- no apto

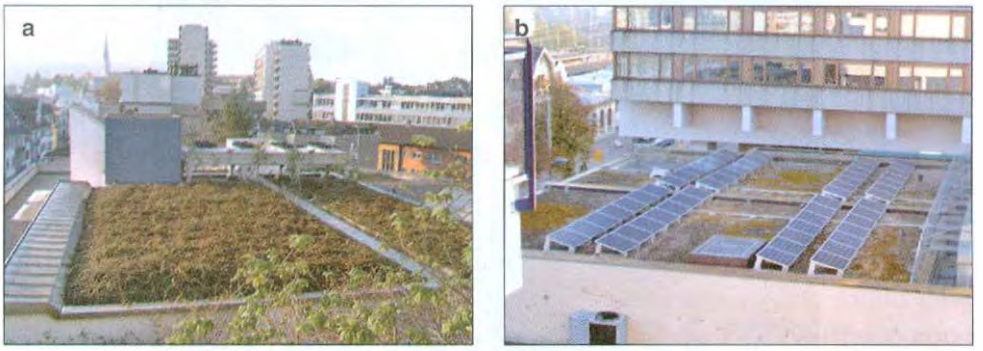
Fuente: Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f].

Naturación de techos

En principio existen dos tipos de techos verdes, con naturación extensiva y naturación intensiva. Se diferencian por el espesor de la capa de sustrato, y el tipo y requerimientos de mantenimiento de las plantas. La naturación extensiva trabaja con sustratos delgados de alrededor de 5 cm de espesor y usa plantas extremada-

mente resistentes a la sequía y contaminación atmosférica. La naturación intensiva usa plantas más exigentes en cuanto al suministro con agua. Por eso necesitan capas de sustrato de por lo menos 10 cm y riego durante épocas secas.

Figura 67
Techos naturados



a: techo con naturación intensiva en Zúrich, Suiza; b: techo con naturación extensiva en Zúrich, Suiza.
Fotos: Margot Franken.

Se pueden implementar sobre techos planos e inclinados, pero requieren de una impermeabilización especial del techo para evitar la entrada de raíces y humedad a la casa. Aparte de la retención de aguas de lluvia y contaminantes (ver capítulo VII, subtítulo 5), protegen la casa contra ruido, equilibran la temperatura y protegen las partes constructivas del techo aumentando su tiempo de vida.

Infiltración y retención

El concepto de "manejo natural de las aguas pluviales" comprende más factores que sólo la infiltración. También en zonas con edificación densa y zonas con suelos limosos poco permeables, una infiltración parcial de aguas pluviales es posible (Sieker & Panning, 2000, ver estudio de caso Dahlwitz-Hoppegarten en Berlín, capítulo VIII, subtítulo 1.2.2.). No se trata de realizar una infiltración completa de las aguas de lluvia, sino incluso en aquellos casos en los que no es posible infiltrar la totalidad de las aguas pluviales, el sistema ayuda a disminuir significativamente los picos de caudal en los ríos receptores y disminuye el diámetro necesario de los tubos de desagüe. Se tiene que crear una combinación de *infiltración descentralizada*, *retención descentralizada y descarga retardada* para lograr la *retención local de las aguas pluviales*, el *incremento de las napas freáticas*, la *disminución de los picos de caudal en los cuerpos receptores* de agua, y el *aumento de los caudales mínimos en el cuerpo receptor*. De esta manera, los caudales de escurrimiento en las zonas edificadas se ajustan a aquellos de las zonas naturales. (Sieker & Panning, 2000; Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998).

Los sistemas de infiltración pueden aplicarse también en urbanizaciones ya existentes para disminuir la carga hidráulica en los sistemas de red de alcantarillado, aunque es más fácil su implementación en zonas de edificación nueva.

Con los sistemas descentralizados de manejo de aguas de lluvia generalmente se pueden ahorrar costos en comparación con la construcción de sistemas de desagüe convencionales. En el caso de los sistemas más complejos de infiltración por lo menos se logra un costo no mayor a los sistemas convencionales. (Sieker & Panning, 2000).

Las medidas de infiltración pueden ser descentralizadas, semicentralizadas o centralizadas. Si la infiltración se realiza en el terreno, sobre el cual cae la lluvia, se trata de un sistema descentralizado. Si se reúnen las descargas de varios terrenos y/o cuencas se trata de sistemas semicentralizados o centralizados. (ATV, 1997).

Es necesario cumplir con varios prerrequisitos para la implementación y el mantenimiento de sistemas de infiltración (según Freie und Hansestadt Hamburg, 2000):

- En los alrededores de los sistemas de infiltración no deben existir materiales riesgosos, por ejemplo, pasivos ambientales.
- Tampoco se deben almacenar materiales peligrosos ni otros con riesgo para los cuerpos de agua, como por ejemplo, solventes y combustibles, en zonas aledañas.
- No se deben usar sales contra hielo o nieve, ni pesticidas en las superficies de infiltración y superficies adyacentes. No se deben lavar autos en esta zona.
- Alrededor de los sistemas de infiltración no se deben plantar árboles ni arbustos con raíces profundas.
- No se debe compactar las superficies de infiltración, por ejemplo, por el parqueo de máquinas pesadas o el paso de automóviles, si no son construidas para este efecto.
- Las edificaciones en las cercanías de sistemas de infiltración tienen que revisarse periódicamente en cuanto a su impermeabilización y posibles daños por humedad.
- Se debe prevenir el taponamiento de los sistemas de infiltración, así como erosiones en las entradas de agua y las zonas de infiltración mediante control y mantenimiento de los sistemas.
- Los sistemas de infiltración con técnicas sofisticadas necesitan por lo menos un mantenimiento al año por una empresa especializada.
- Para el control de la capacidad de retención de los sistemas de infiltración se deben realizar estudios de suelo de las capas superiores y/o estudios del agua de infiltración y de las aguas subterráneas cada 5 a 10 años.

La infiltración de aguas en grandes superficies es lo ideal, pero en áreas densamente pobladas no es posible. Por este motivo se desarrollaron varios métodos para la infiltración (según Freie und Hansestadt Hamburg, 2000):

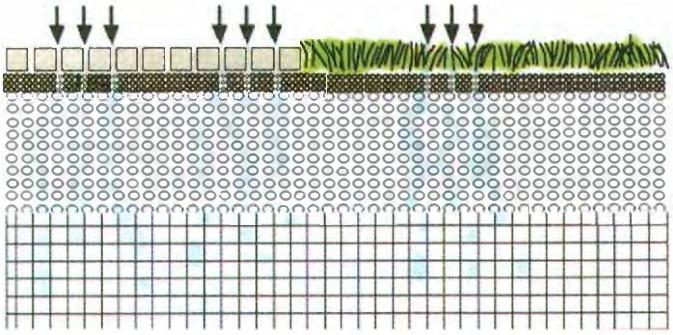
- Infiltración en superficies planas.
- Infiltración en depresiones.
- Infiltración por tubos o zanjas de grava (*Rigolen*), muchas veces en combinación.
- Infiltración en sistemas combinados de depresiones y zanjas de grava.
- Infiltración en pozos.
- Infiltración en lagunas.

Infiltración en superficies planas extensas

Se usan superficies del mismo tipo que las descritas para la minimización del sellado de terrenos (ver figuras 64, 65 y 66), sólo que en este caso también reciben aguas adicionales de escurrimiento de superficies adyacentes.

Es el método más simple y menos costoso para la infiltración de las aguas de lluvia. Las aguas pluviales se infiltran directamente por materiales permeables o semipermeables, o en superficies adyacentes a superficies selladas (por ejemplo, carreteras), sin almacenarse anteriormente. Las superficies pueden ser vegetadas o libres de vegetación, como cascajo, rejillas prefabricadas de cemento u otros (losetas, piedras cortadas, adoquín, hormigón permeable, asfalto permeable etc.). Como no se tiene la posibilidad de almacenamiento, las superficies tienen que ser capaces de infiltrar más agua de la que se precipita. Su uso es posible cuando el suelo es altamente permeable, en terrenos con grandes superficies verdes o de suelo sin sellado ni compactación, y en superficies con uso múltiple (por ejemplo, patios o parqueos). El tamaño de la superficie de infiltración tiene que ser entre 25 a 100% de la superficie sellada de la que recibe las aguas de escurrimiento. Especialmente en superficies con vegetación, por ejemplo pasto, el agua se purifica durante su paso por la vegetación y el suelo. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; ATV, 1997).

Figura 68
Infiltración en superficies planas



Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

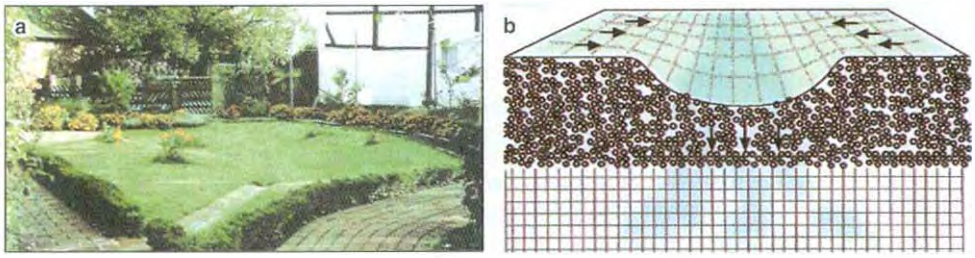
Tabla 25
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en superficies planas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Simple en su construcción. – Generalmente de bajo costo. – Purificación de las aguas de escurrimiento por filtración. – Se puede usar para parqueos, patios y vías de acceso, es decir, en superficies de uso múltiple, si se incluye un modo de estabilización de las superficies con rejillas de cemento, losetas, adoquín, piedras cortadas u otros materiales. – Fácil mantenimiento.	– Se necesitan grandes superficies. – El suelo tiene que ser permeable. – Capacidad de infiltración tiene que ser más alta que la intensidad de la lluvia. – Costo alto, si se usan superficies especiales como rejillas de cemento, losetas, piedras cortadas u otros materiales costosos.

Infiltración en depresiones

El agua de lluvia se dirige de las superficies selladas hacia depresiones someras de 10 a 30 cm de profundidad, generalmente con vegetación de gramíneas. Lombrices, raíces y brotes de plantas garantizan la permeabilidad permanente del suelo y una vida larga del sistema. Si la inclinación del terreno es mayor a 2% se deben incluir obstáculos transversales paralelos a las isolíneas de la pendiente. El tiempo de estancamiento no tiene que sobrepasar un máximo de dos días para evitar la formación de lodos y taponamientos de la superficie y para evitar daños en la vegetación. Las experiencias muestran que la capacidad no se altera con el tiempo, cuando la inundación es intermitente, como ocurre en las depresiones para la infiltración de agua de lluvia. Eso se debe principalmente a la actividad biológica de la vegetación y a la edafofauna. Por otro lado, el sistema debe operarse adecuadamente, es decir, se tiene que recoger la hojarasca y otros materiales gruesos. Por la variedad de plantas y formas, y el uso de plantas que fomentan la evapotranspiración, las depresiones pueden usarse como elemento ornamental en el diseño del jardín. Se usa en las siguientes situaciones: a) cuando la permeabilidad del suelo está entre buena y regular, b) en terrenos con superficie insuficiente que no hacen posible la infiltración en superficies planas, c) en zonas residenciales para mejorar el medio ambiente, d) como método de diseño en la creación de áreas verdes, e) en las áreas laterales de caminos para peatones y ciclistas. La superficie necesaria es de aproximadamente 15% del área sellada. El manejo prevé en especial el corte regular de las gramíneas. El sistema igualmente garantiza una buena purificación de las aguas infiltradas. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; ATV, 1997).

Figura 69
Infiltración en depresiones



a: depresión de infiltración, como parte del jardín, con su canal de entrada; b: esquema de una depresión de infiltración. Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

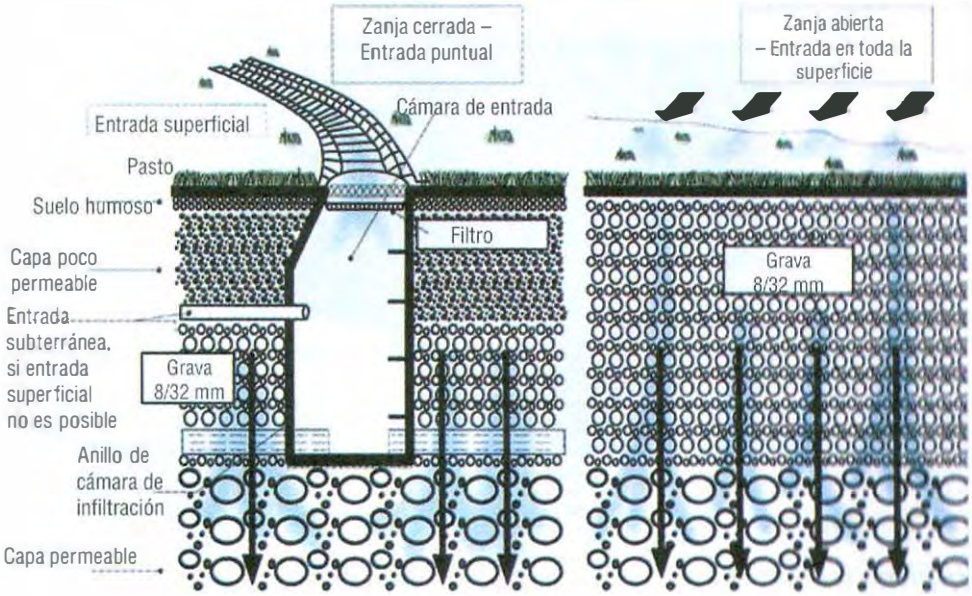
Tabla 26
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en depresiones

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Simple en su construcción. – Bajo costo. – Purificación de las aguas de escurrimiento por filtración. – Necesita menos superficie comparado con terrenos planos. – Se integran fácilmente en áreas verdes y se pueden usar como superficies de recreación, cuando están secos. – Pueden ser conectados con humedales artificiales y lagunas. – Fácil mantenimiento.	– Se necesitan superficies libres de otros usos. – El suelo tiene que ser permeable.

Infiltración en zanjas de grava (Rigolen)

Este método se usa en casos de capas superiores de suelo impermeables y capas inferiores con buena permeabilidad. Los canales de drenaje se llenan con grava u otro material de alta porosidad. El agua se dirige hacia estos canales, se almacena en ellos por corto tiempo y se infiltra al subsuelo en un tiempo retardado. Se usa cuando el suelo superficial es poco permeable o compactado, y/o cuando se tiene poco espacio para la infiltración del escurrimiento de los techos o el agua de rebalse de las cisternas de almacenamiento de aguas de lluvia. Los canales no deben tener pendiente. Se tiene que envolver el canal con geotextil para evitar la entrada de material fino al filtro de grava. Estos sistemas se pueden combinar con infiltración en depresiones, con pozos y tubos de infiltración. La superficie necesaria es de 6 a 7% de la superficie sellada, en el caso de zanjas abiertas. Aplicando zanjas subterráneas, no se necesita superficie adicional. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

Figura 70
Infiltración en zanjas de grava (*Rigolen*)



Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

Tabla 27
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en zanjas de grava

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Necesita poca superficie. – El suelo superior puede ser impermeable y/o compactado. – Se puede combinar con otros sistemas, como depresiones, pozos y tubos de infiltración. – Buena capacidad de almacenamiento.	– No tiene capacidad de purificación. – Se necesita un subsuelo permeable. – Se recomienda un filtro anterior para retener material particulado. – En caso de colmatación es difícil de sanear. – Costo relativamente alto. – Excavación tres veces mayor que en caso de una depresión. – No debe tener pendiente. – Se necesita un análisis de suelo y asesoramiento profesional. – Control y mantenimiento del filtro de pretratamiento necesario.

Actualmente, como material de llenado de las zanjas (*Rigolen*), en vez de la grava se usan también cubos plásticos porosos de alta resistencia para almacenaje de alto volumen de agua (figura 71), hasta más de 95%, mientras la grava sólo puede almacenar un tercio de su volumen en agua. Los sistemas se pueden reducir en tamaño, pero los costos suben por el precio de los cubos plásticos. Algunos de estos elementos modernos tienen gran resistencia a cargas de tráfico pesado, así que en zonas de parqueo, por ejemplo, pueden usarse adicionalmente como superficies de infiltración. Una ventaja de estos cubos es también la posibilidad de supervisión y lavado de la *Rigole* con las técnicas tradicionales usadas en canales de alcantarillado. El agua sucia del lavado se aspira por los pozos de control.

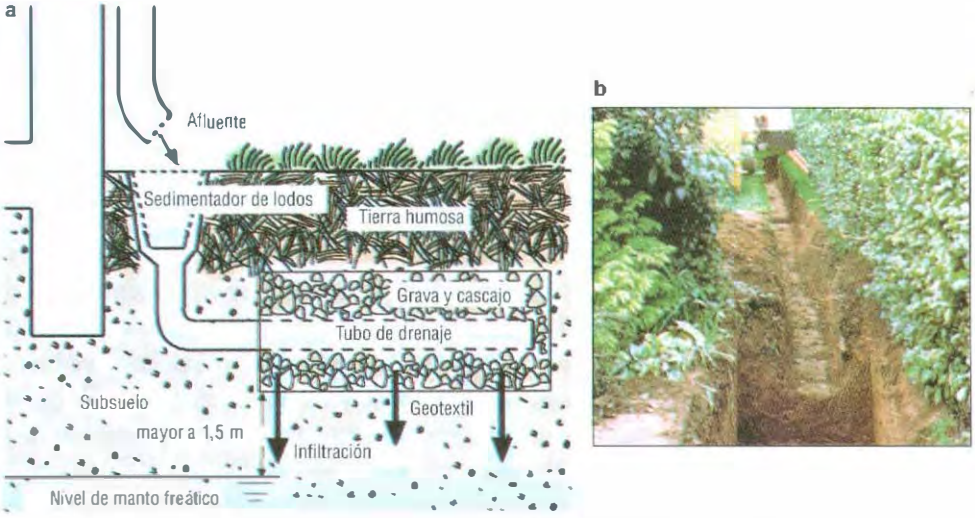
Figura 71
Elementos de plástico de alta capacidad de almacenamiento de agua *(Rigo-fill inspect)* para la construcción de *Rigolen*

Se observa su envoltura de geotextil. Fuente: Adams, 2003.

Infiltración por tubos

Se trata de un caso especial de las zanjas de grava (*Rigolen*). El agua pluvial se dirige a un tubo de drenaje que está insertado en una zanja de grava, se distribuye en forma

Figura 72
Infiltración por tubos en zanja de drenaje



a: esquema de infiltración por tubo; b: construcción de la zanja para infiltración por tubo.
Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

lineal, se almacena por corto tiempo y se infiltra al subsuelo en forma retardada. La superficie necesaria es de menos de 2% de la superficie sellada. El diámetro de los tubos es de mínimo 30 cm. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

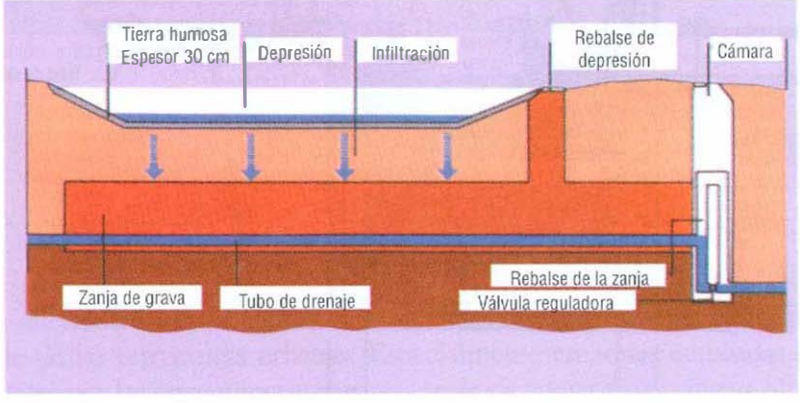
Las ventajas y desventajas son las mismas que para los *Rigolen*.

Los sistemas de zanjas de grava (*Rigolen*) y los sistemas combinados con tubos tienen una capacidad reducida de purificación de las aguas y por eso sólo se pueden usar para aguas muy poco alteradas (contaminadas). Además, los sistemas necesitan más excavación que los sistemas de depresiones (ATV, 1997). La distancia a nivel máximo de la napa freática es por lo menos 1.5 m.

Infiltración por combinación de depresiones y zanjas de grava (Mulden-Rigolen-System):

Las depresiones de forma alargada descargan las aguas pluviales colectadas durante los eventos de tormenta hacia una zanja de drenaje (*Rigole*) debajo de la depresión, llena de grava, granulado de piedra pómez o elementos de plástico resistente. Este método se usa en terrenos con poca superficie disponible o capas superiores de suelo poco permeables. La zanja de grava u otro material altamente permeable tiene la tarea de almacenar e infiltrar el agua lo máximo posible en el subsuelo. Los excedentes de agua se colectan por una red de tubos de drenaje hacia otra superficie de infiltración, un cuerpo receptor o el alcantarillado. Por la implementación de accesorios de regulación, el uso del sistema es independiente de las características del suelo. También es aplicable a suelos casi impermeables. (Freie und Hansestadt Hamburg 2000; Sieker & Panning, 2000).

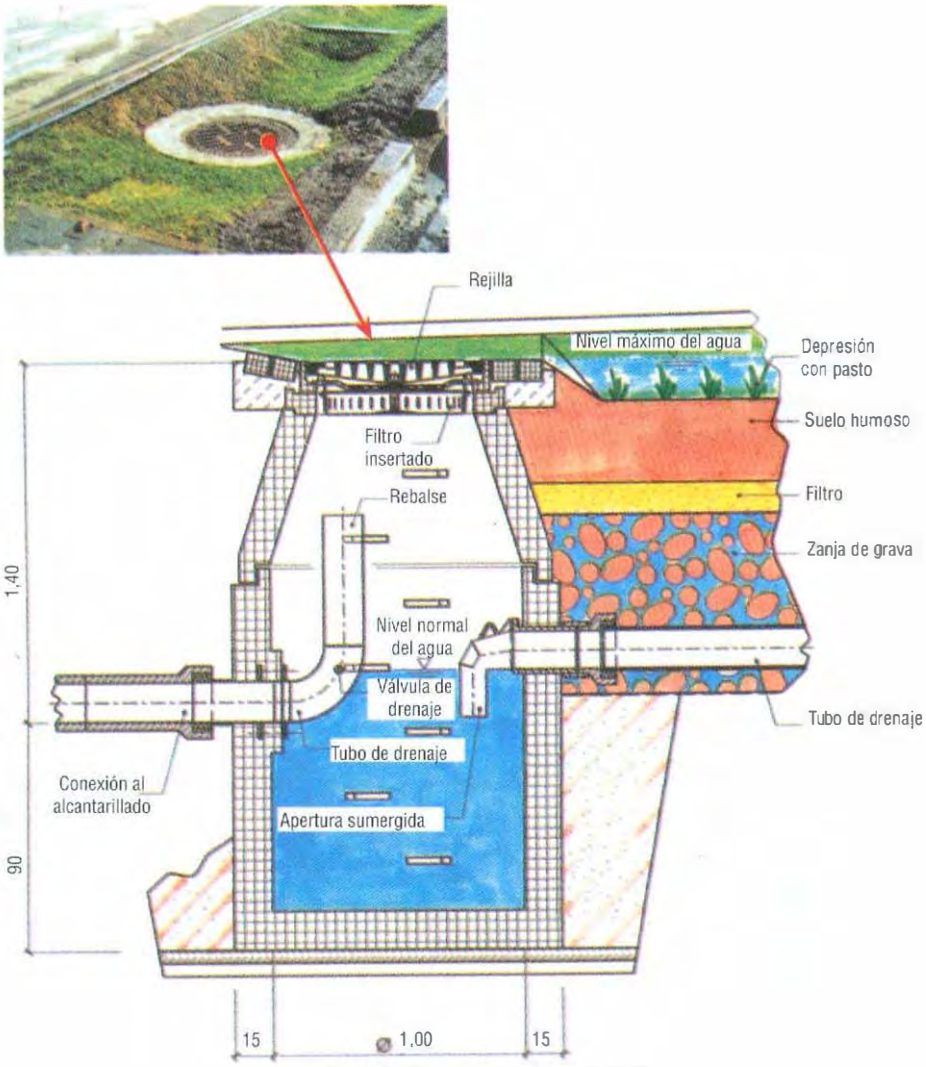
Figura 73
Esquema de un elemento combinado depresión con zanja de grava *(Mulden-Rigolen-Element)*



Fuente: Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998.

Para conectar los elementos individuales de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-Element*) y para el control de los *Rigolen* se necesitan cámaras de control. El sistema combina la infiltración del agua por el suelo de las depresiones, garantizando una buena purificación, con la capacidad de almacenamiento del agua y evacuación retardada hacia el subsuelo o hacia la red de alcantarillado. Se trata de un sistema de alto costo comparable con los sistemas convencionales. (ATV, 1997).

Figura 74
Esquema de pozo de control y rebalse de un elemento depresión con zanja de grava *(Mulden-Rigolen-Element)*



Fuente: Stadtentwaesserung Hannover. [s/f].

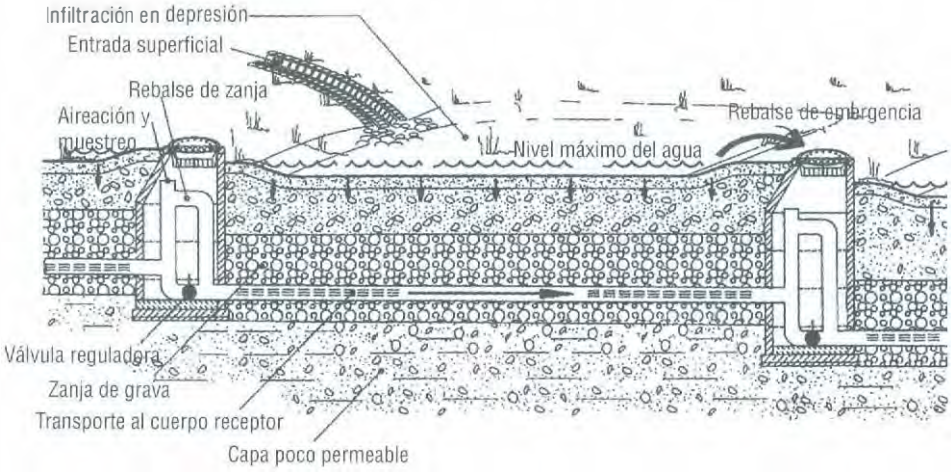
Tabla 28
Ventajas y desventajas de la infiltración en sistemas combinados de depresiones y zanjas tipo *Rigolen*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Necesita poca superficie. – El suelo puede ser impermeable y/o compactado. – Tiene capacidad de purificación por la capa de suelo de aproximadamente 30 cm de la depresión. – Buena capacidad de almacenamiento.	– Costo muy alto. – No deben tener pendiente o se tienen que construir en forma de cascada. – Se necesita análisis de suelo y una empresa para planificación y realización. – En caso de colmatación es difícil de sanearlos. – Es necesario hacer un control y mantenimiento regular.

El sistema completo comprende (según Sieker & Panning, 2000):

- *Recolección de las aguas pluviales en canales abiertos*, construidos con losetas o piedras, hacia las depresiones.
- *Depresiones con una cobertura de suelo y vegetación*, en general gramíneas. El pasto se tiene que cortar regularmente. Estas depresiones retienen aproximadamente 20 mm de caudal pluvial y funcionan como almacén de corto tiempo. El suelo de las depresiones tiene una permeabilidad tal que el agua infiltra totalmente en tres horas. Luego de la infiltración por el suelo de las depresiones y una capa reguladora debajo del suelo, el agua entra a la zanja de grava (*Rigole*).
- *Zanjas de grava* como almacén de largo tiempo. La zanja de grava (*Rigole*) está envuelta en un geotextil y contiene grava, granulado de piedra pómez u otro material grueso. La capacidad de la zanja es de alrededor de 30 mm de caudal pluvial. Desde la zanja el agua infiltra hacia el suelo o en caso de un suelo impermeable, se desvía en forma retardada hacia un sistema de desagüe.
- *Rebalse* para desviar el agua excedente de la depresión hacia un pozo y evitar una inundación más alta que la superficie de la depresión.
- *Tubo de drenaje* en la zanja de grava para llevar el agua hacia un pozo, donde se puede regular el desagüe hacia un cuerpo receptor (o un sistema de alcantarillado).
- *Tubos de desagüe* hacia el cuerpo receptor.
- *Cuerpo receptor.*

Figura 75
Elementos conectados de un sistema de infiltración conformado por depresiones combinadas con zanjas de grava *(Rigolen)*

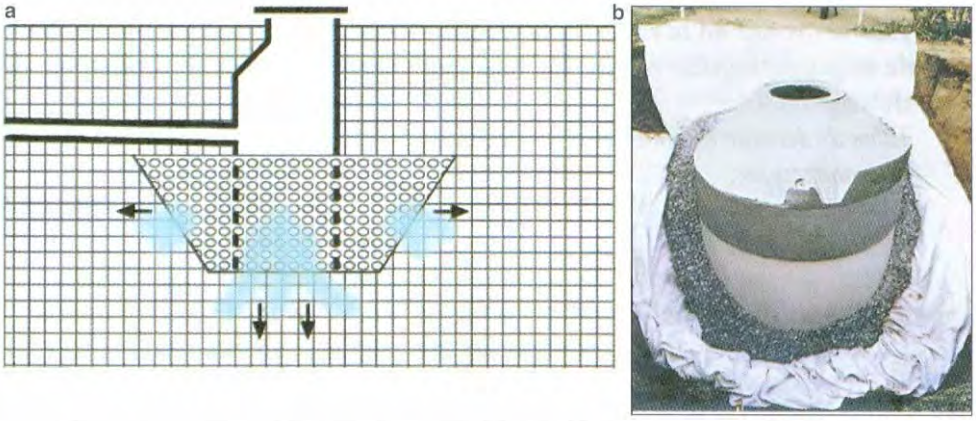


Fuente: ATV, 1997.

Infiltración en pozos

El pozo tiene fondo abierto y paredes inferiores perforadas, por donde el agua infiltra directamente al subsuelo. Sólo se puede usar para aguas de la categoría 1 (ver tabla 34) y se necesita siempre un pretratamiento de las aguas. Requiere una superficie de 2% de la superficie sellada. (Emschergenossenschaft & Lippeverband [s/f], Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; ATV, 1997).

Figura 76
Esquema y foto de pozo de infiltración



a: esquema de un pozo de infiltración; b: pozo de infiltración con sus envolturas de grava y geotextil.
Fuentes: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; <www.mallnet.de>.

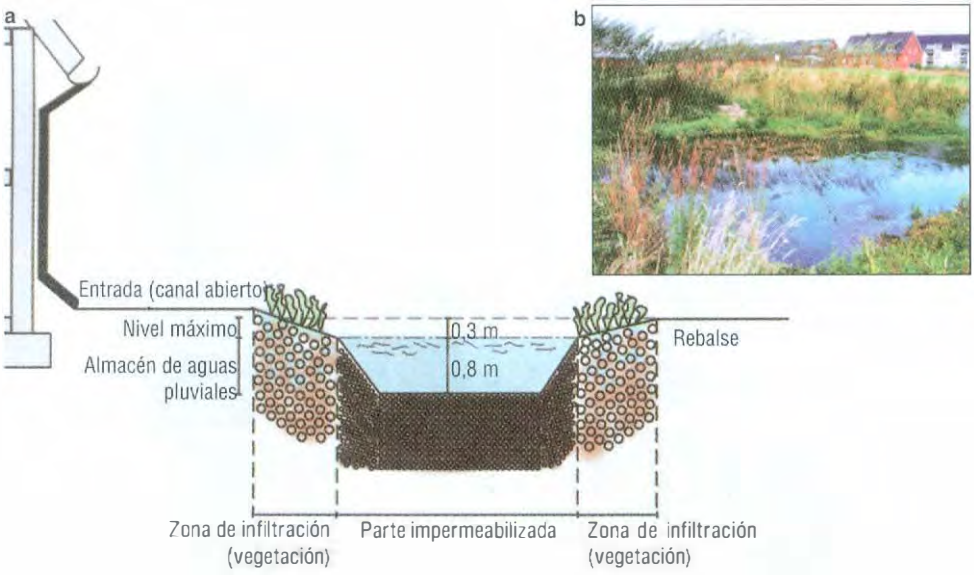
Tabla 29
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en pozos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Necesita muy poca superficie. – El suelo superior puede ser impermeable y/o compactado. – Buena capacidad y capacidad variable de almacenamiento.	– Costo alto. – Se necesita un filtro anterior para la retención de material particulado. – Se necesita análisis de suelo y asesoramiento profesional para planificación y realización. – No tiene capacidad de purificación.

Infiltración por lagunas, humedales o acequias

El agua se conduce a una laguna o humedal artificial que está impermeabilizado sólo en su parte profunda. El cambio en el nivel del agua por la retención de las precipitaciones no debe ser mayor a 30 cm. El área necesaria de 15% del área sellada es grande. Como las lagunas tienen la característica de impermeabilizarse en su fondo de manera natural y por la entrada de suspensiones con las aguas de escurrimiento, es recomendable adelantar una laguna de sedimentación o integrar una zona de deposición en la laguna de infiltración. Las lagunas con vegetación se integran bien al paisaje. Se implementan principalmente en urbanizaciones grandes. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000; ATV, 1997).

Figura 77
Foto y esquema de infiltración de aguas pluviales en lagunas



a: esquema de laguna de infiltración; b: laguna de infiltración en área verde pública.
Fuente: Freie und Hansestadt Hamburg, 2000.

Tabla 30
Ventajas y desventajas de medidas de infiltración en lagunas o humedales

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Pueden integrarse al paisaje. – Hábitat para plantas y animales. – Lugar de recreación.	– Costo más alto que la construcción de depresiones. – Capacidad de purificación reducida. – Necesita superficies relativamente grandes.

Retención de aguas pluviales con descarga retardada

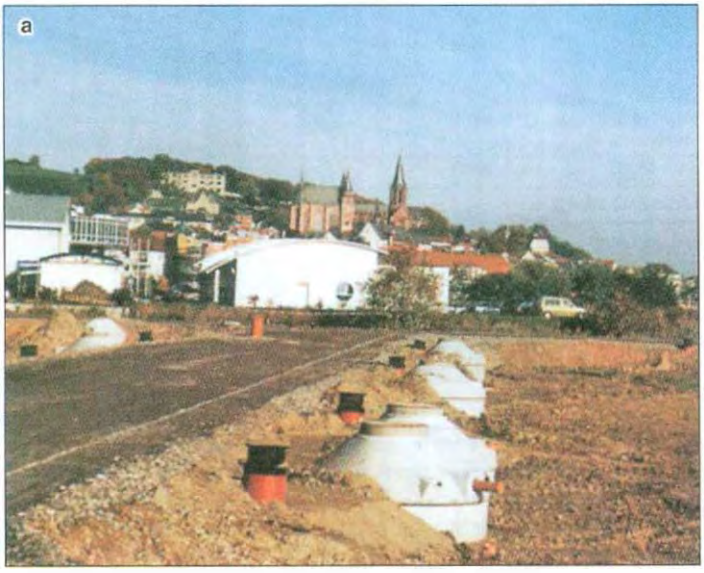
El agua pluvial se colecta en una cisterna y luego se descarga de forma controlada a un cuerpo receptor o a la red de alcantarillado. Esta medida evita las subidas de pico de caudal durante tormentas. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000)

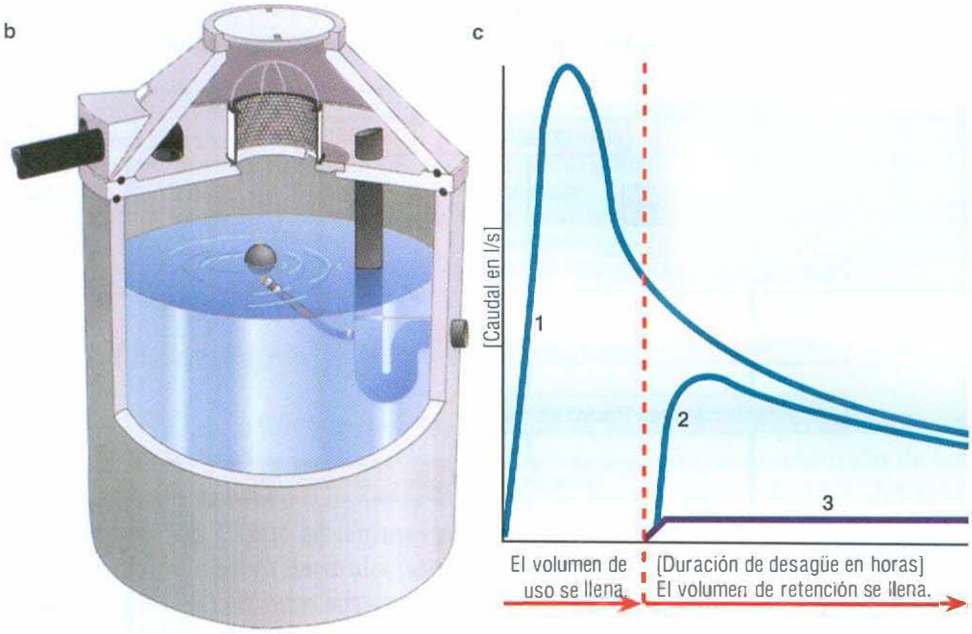
Tabla 31
Ventajas y desventajas de medidas de retención con descarga retardada

VENTAJAS	DESVENTAJAS
– Se puede combinar con el uso de las aguas pluviales en la vivienda	– Costo alto. – No tiene capacidad de purificación. – No se integra al paisaje.

Koenig (2000) describe cisternas de uso y retención de aguas pluviales con descarga reducida y da cuenta de las experiencias en varias urbanizaciones.

Figura 78
Cisterna de retención de aguas pluviales, su implementación en nueva urbanización y esquemas de funcionamiento

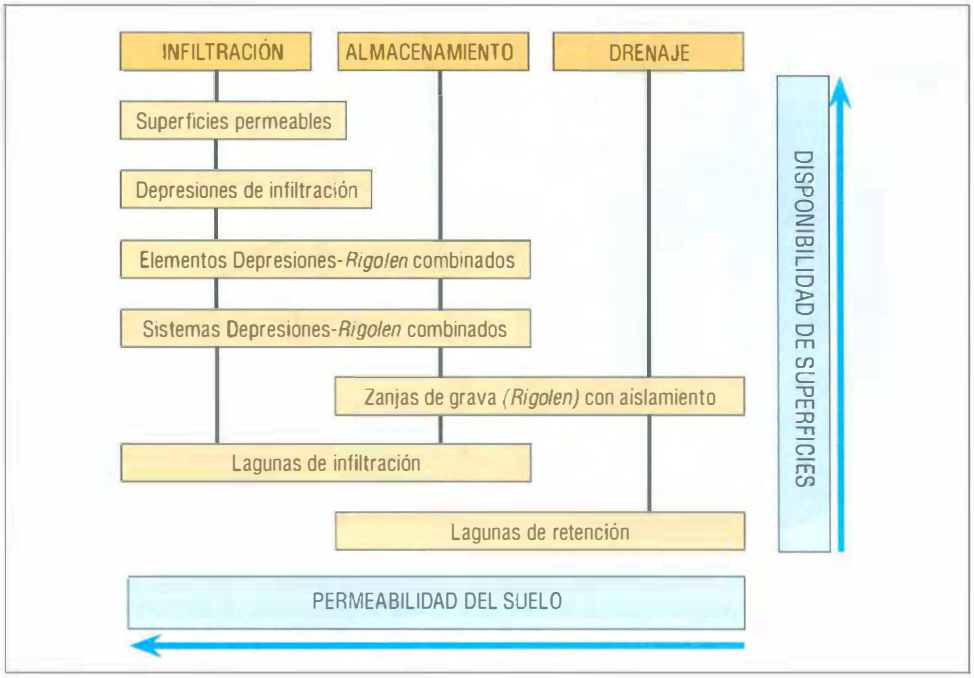




a: cisternas de uso y retención de aguas pluviales en zona de construcción de viviendas. Cada terreno tiene su cisterna
b: Cisterna de retención: izquierda: entrada, centro: malla filtrante 0.3 mm, derecha: rebalse
La válvula reguladora que flota en el agua puede ser regulada exactamente, por ejemplo, a 0,07 l/s.
La relación entre el volumen amortiguador (encima de la conexión de la válvula)
y el volumen de almacenamiento puede ser seleccionada según la necesidad.
c: Curvas características de caudal después de eventos de tormenta:
1. Caudal de escurrimiento sin retención.
2. Caudal después de cisterna con apertura de salida pequeña, pero sin válvula reguladora.
3. Caudal después de cisterna con válvula reguladora.
Fuente: Koenig, 2000.

Todos los sistemas de retención, como las zanjas de grava (*Rigolen*) y las cisternas, se pueden regular con válvulas de evacuación retardada. Estas válvulas reguladoras de drenaje pueden disminuir el caudal de desagüe a 1 a 5%, lo que corresponde al caudal de escurrimiento de una superficie con vegetación natural. (Adams, 2003).

Figura 79
Elementos de manejo de aguas pluviales para sistemas combinados



Fuente: Koenig, 1996.

Tabla 32
Comparación de distintos métodos de infiltración y retención

Método de infiltración	Superficie requerida (en % de la superficie sellada de escurrimiento)	Descontaminación por pasaje de suelo y vegetación	Necesidad de pretratamiento	Costo de implementación	Mantenimiento
Superficie plana	25 - 100	Sí	-	Muy variable (depende de materiales)	Fácil
Depresión	15	Sí	-	Bajo	Fácil
Zanja de grava *(Rigole)*	6 - 7**	-	Sí	Mediano a alto (depende del material de llenado)	Mayor
Tubo de drenaje	< 2	-	Sí	Mediano	Mayor
Pozo	2	-	Sí	Alto	Mayor
Sistema combinado: depresión y zanja de grava	10 - 15	Sí	-	Muy alto	Alto
Laguna	15	Reducido	Deseable	Mediano	Mayor
Cisterna (sólo retención)		-	Sí	Alto*	Mayor

* Si el agua almacenada en la cisterna se usa también en la vivienda, el costo se amortigua por el ahorro de agua potable.
** Si la superficie no se usa para la infiltración, se puede usar para otras finalidades
Fondo turquesa: ventajas de los sistemas distintos

Fuente: Koenig, 1996.

Si existe suficiente superficie, la *infiltración en depresiones tiene las mayores ventajas*. Estas depresiones se pueden integrar en un concepto de áreas verdes y sirven como superficies de retención durante precipitaciones extremas. La inversión necesaria para la implementación de depresiones de infiltración es mínima. Su tiempo de vida antes de reemplazar la superficie debería ser de varios decenios, si el manejo de estas depresiones es regular. (Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994).

Uno de los *requisitos generales* para la infiltración de aguas de lluvia es una profundidad mínima del *nivel de la napa freática*. Además la distancia entre la superficie del terreno y el nivel máximo de la napa freática tiene que ser conocida y suficientemente grande para garantizar la purificación de las aguas de lluvia. La distancia recomendada mínima entre el fondo del sistema de infiltración y el nivel máximo de la napa freática es de 1 m en caso de infiltración en depresiones y de 1,5 m en caso de infiltración por pozo. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

Otro criterio es la *distancia a edificaciones* para evitar la humidificación de las paredes. Se recomienda una distancia mínima de 6 m. Además se tiene que considerar que el agua se debe guiar en dirección opuesta a las edificaciones. Muchas veces eso es difícil en zonas céntricas de la ciudad. (ATV, 1997; Sieker & Panning, 2000).

Para la infiltración se tienen que prever *superficies suficientes*. La presencia de superficies libres, no selladas, es el prerrequisito directo para la proyección de un sistema de infiltración, independiente de la técnica aplicada. Las superficies de infiltración en depresiones se calculan en base a las precipitaciones, la profundidad de la depresión, la capacidad de retención, así como la infiltración final empírica.

Los sistemas de infiltración tienen un *tiempo de vida* entre 15 y máximo 50 años.

En la infiltración de aguas pluviales, los requerimientos de protección del suelo determinan el dimensionamiento, la construcción y la operación de los sistemas de infiltración, más que los requerimientos hidráulicos. Las *aguas de escurrimiento siempre tienen algún grado de contaminación* por el lavado de superficies. Por este motivo la infiltración, idealmente, debe realizarse por la capa superior de suelo con vegetación. Por el riesgo que presentan para las aguas subterráneas, se debería evitar una infiltración subterránea directa por pozos y en cada caso una sumersión de las salidas de agua pluvial. En general, sólo se deben infiltrar aguas no contaminadas o con contaminación mínima. Para este efecto se distinguen aguas de tres categorías de calidad: Categoría I - sin riesgos / Categoría II - tolerable / Categoría III - no tolerable (ver tabla 33). (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000, ATV 1997).

Muchas veces se subestima la capacidad de purificación de un suelo con vegetación. Un pasaje por un suelo madre (con alto contenido de humus y minerales arcillosos) de pocos decímetros es suficiente para la descontaminación

de aguas ligeramente contaminadas, sólo se tiene que tener cuidado en zonas industriales, dependiendo de las industrias presentes. Las superficies planas y las depresiones son los mejores sistemas para la filtración de contaminantes. (Sieker & Panning, 2000).

No se debería infiltrar aguas procedentes de techos de cobre, plomo o zinc. El uso de estos metales, donde pueden entrar en contacto con aguas pluviales, debe reducirse al mínimo. (Voss, 1999).

Si el agua pluvial colectada está fuertemente contaminada, se tiene que instalar un pretratamiento antes de su infiltración o evacuarla a una planta de purificación.

Tabla 33
Aptitud de aguas de escurrimiento para su infiltración
(La calidad de las aguas disminuye de 1 a 10)

Superficie / Definición de la zona	Aptitud del agua de escurrimiento para su infiltración	Calidad
Superficies de techos en zonas residenciales y zonas de pequeña industria comparables	Sin riesgos	1
Caminos para peatones y ciclistas en zonas residenciales	Tolerable	2
Superficies de patios en zonas residenciales y zonas industriales comparables		3
Carreteras con menos de 2.000 automóviles por día		4
Superficies de techos en zonas industriales		5
Carreteras con 2.000 a 15.000 automóviles por día		6
Zonas de parqueo		7
Carreteras con mas de 15.000 automóviles por día		8
Patios de servicio en fincas y haciendas		9
Patios y carreteras en zonas industriales	No tolerable	10

Fuente: ATV, 1997.

Para la infiltración no son aptos suelos con una conductividad de agua menor a 10^{-6} m/s, por su impermeabilidad, ni sustratos como grava, por el tiempo de retención reducido. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

Resumen

Las condiciones importantes que se deben tomar en cuenta para la infiltración de aguas de lluvia son: su calidad o grado de contaminación, la permeabilidad del suelo, el tamaño de la superficie que se debe drenar, el perfil e inclinación del terreno, y el tamaño de las superficies disponibles para el sistema.

Las ventajas económicas y ecológicas de la infiltración son las siguientes (según Londong, 1996):

- Enriquecimiento de las aguas subterráneas.
- Aumento del nivel mínimo en los cuerpos de agua.
- Minimización de los niveles altos.
- Cargas reducidas de contaminantes.
- Mejoramiento del microclima.
- Fortalecimiento de los balances naturales.
- Ahorro de costos en la eliminación de aguas servidas.

En conclusión, se puede decir que el manejo descentralizado de las aguas pluviales no sólo tiene ventajas ecológicas, sino también ventajas económicas, si la situación local permite una infiltración abierta de las aguas. Eso se refiere a zonas de construcción nueva e igualmente a zonas ya edificadas (Londong, 1996).

Tabla 34
Requerimientos para la implementación exitosa de la infiltración de aguas pluviales

	Requerimientos
Mentales	Predisposición positiva en la comunidad, en la municipalidad, planificadores, constructores y usuarios.
Administrativos	Sin restricciones por la reglamentación de agua, edificación, y las diferentes normas y reglamentos para obras hidráulicas y construcciones.
	Medidas jerárquicas de tarifas.
	El mantenimiento tiene que ser regulado, de forma privada o pública.
Suelo y agua subterránea	Permeabilidad suficiente.
	Distancia suficiente hacia las napas freáticas también en épocas de cambio de nivel.
	Ninguna movilización de contaminantes por pasivos ambientales.
	Restricciones en zonas de protección de aguas subterráneas.
Terreno	Superficies suficientes para infiltración y almacenamiento.
	Sólo contaminación moderada de las superficies selladas.
	Poca pendiente.
	Distancia suficiente a edificaciones.
Planificación e implementación	Planificadores competentes en trabajo multidisciplinario.
	Integración temprana al concepto de planificación.
	Descripción precisa de la tarea y supervisión intensiva de la construcción.
	Sin disminución significante de la comodidad en comparación con el desagüe rápido por alcantarilla.
	Costos en el marco convencional o menor.

Fuente: Londong, 1996.

La selección e implementación de medidas de manejo de las aguas pluviales depende de las estructuras urbanas. Especialmente en zonas edificadas se tiene dificultades por las estructuras existentes. Áreas de construcción nueva ofrecen un margen mucho más grande para la implementación de estas medidas. (Uhl, 1999).

Según Uhl (1999), en la evaluación de zonas para implementar el manejo de las aguas pluviales tienen importancia los siguientes aspectos:

- Topografía
- Profundidad de las aguas subterráneas
- Ubicación y tamaño de las aguas superficiales
- Situación hidrogeológica
- Existencia potencial de pasivos ambientales
- Sistemas existentes de drenaje
- Conceptos posibles de drenaje
- Tratamiento posible de las aguas pluviales
- Costos de obras preliminares

Los resultados del estudio tienen que ser parte del diseño urbano. Los factores principales son: información sobre las zonas sensibles del manejo de aguas (cuerpos de agua superficiales y subterráneos), conceptos para el manejo de las aguas pluviales, puntos fijos existentes para el drenaje, ubicación preferida de las edificaciones, e información sobre forma y agrupamiento ideal de las edificaciones en base a la dirección favorable del drenaje superficial de aguas en la zona. En el reglamento de patrones de asentamiento se tiene que mencionar las reglas del manejo de aguas pluviales para que éstas queden claras para los futuros inversionistas y compradores privados. (Uhl, 1999).

4. Tratamiento de aguas contaminadas de escurrimiento en humedales artificiales de retención

Contaminantes en aguas pluviales de escurrimiento

La entrada de aguas pluviales a los cuerpos de agua no solamente es un problema hidráulico porque estas aguas de escurrimiento, especialmente en las zonas urbanas, traen también un potencial grande de contaminantes. Sólo las aguas poco contaminadas se pueden infiltrar directamente al suelo con los métodos descritos en el subtítulo anterior de este capítulo. Las aguas de escurrimiento que entran a la red de alcantarillado se tienen que purificar antes de su entrada a los cuerpos receptores, con métodos semicentralizados o centralizados. En este capítulo sólo se describe los métodos nuevos para el tratamiento de aguas de escurrimiento, porque los métodos de tratamiento de aguas servidas ya se han desarrollado en el capítulo VI.

Se define como aguas pluviales de escurrimiento las aguas captadas por la red separada de alcantarillado, los rebalses de la red mixta de alcantarillado y los drenajes de las vías de tráfico. Los escurrimientos de agua pluvial ocurren como olas hidráulicas rápidas, con concentraciones variables de contaminantes.

Afectan en diferente medida el caudal, la calidad de aguas, la morfología y la biocenosis del ecosistema acuático. (Uhl *et al.*, 2003a).

El agua pluvial de escurrimiento, por el lavado de partículas y gases desde el aire, el lavado de las superficies de escurrimiento, y en relación con su tipo y su tamaño, contiene varias sustancias contaminantes inorgánicas (por ejemplo, metales pesados) y orgánicas (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, derivados del petróleo etc.), dependiendo de las fuentes de emisión presentes. Además, lleva consigo basura y excrementos de animales como aves y perros. Por este motivo, no todas las aguas pluviales deberían ser infiltradas directamente (ver tabla 33).

Tabla 35
Cargas anuales de abrasión en superficies de distintos usos en zonas urbanas

Superficie o definición de la zona	Suspensiones kg/(ha_{red} x año)	DQO kg/(ha_{red} x año)	Plomo g/(ha_{red} x año)	Cadmio g/(ha_{red} x año)	Cobre g/(ha_{red} x año)
Superficies de techo					
Superficies inertes en zonas residenciales y zonas semejantes de pequeña industria*	130	60	50	10	200
Superficies en zonas industriales	150	60	100	20	600
Superficies de tráfico					
Carreteras con menos de 2000 automóviles al día	1.000	120	150	25	200
Carreteras con 2.000 a 15.000 automóviles al día	1.350		200	30	250
Carreteras con 15.000 a 40.000 automóviles al día	850		400	50	400
Carreteras con más de 40.000 automóviles al día	630		550	80	300
Superficies de parqueo	Igual que superficies de carreteras con la carga de tráfico correspondiente				
Otras superficies					
Vías ciclistas y peatonales y patios en zonas residenciales	600	120	100	40	200
Patios y carreteras en zonas industriales	700	150	200	80	400

*Sólo influenciado por deposición atmosférica. No se tomaron en cuenta techos metálicos de plomo, cobre y zinc, que pueden desprender altas cargas de estos metales, además del cadmio ligado al zinc (ver tabla 21, capítulo VII, subtítulo 1).
*ha_{red} = hectárea de superficie sellada.

Fuente: Xanthopoulos & Schaefer, 1996.

Las concentraciones en el escurrimiento de aguas pluviales son muy diferentes en espacio y tiempo, dependiendo del uso de las superficies selladas, de la intensidad y la secuencia de las precipitaciones (Manual M153 de ATV, 2000, Dohmann & Hamacher, 1996). La carga de contaminantes en el agua es mucho

mayor en el principio de una lluvia, especialmente en zonas urbanas. Luego de una precipitación de 2 mm, las concentraciones de contaminantes en aguas de escurrimiento de techos disminuyen drásticamente. En el escurrimiento de superficies de carreteras en zonas residenciales ese límite es aproximadamente 12 mm. El escurrimiento de aguas pluviales es el medio principal de transporte para cadmio, el que se emite principalmente en las superficies de las carreteras por abrasión. En el caso del plomo, que se emite por los gases de escape, ligado a aerosoles, el transporte por el viento es de mayor importancia. (Geiger & Dreiseitl, 2001; Xanthopoulos & Schaefer, 1996).

Sistemas convencionales:

Se tienen que diferenciar dos tipos de alcantarillado: los sistemas mixtos y los sistemas separados.

Los *sistemas mixtos de alcantarillado* generalmente necesitan menos inversiones para su construcción y son más seguros en su operación. Las desventajas son la mezcla de diferentes tipos de aguas servidas y la entrada de excesos de agua a los cuerpos receptores durante eventos de precipitación alta. Para evitar estos rebalses se implementan tradicionalmente estanques de almacenamiento de las aguas servidas antes de su entrada a la planta de purificación. Los estanques retienen los excesos de agua y dejan entrar el caudal de la red paulatinamente al sistema de tratamiento. En general, la construcción de espacios de retención, en forma de estanques o lagunas, es la medida más frecuente para la disminución de la carga hidráulica y la entrada de sólidos en los cuerpos receptores.

En todo caso, no se pueden evitar los rebalses durante precipitaciones extremas y/o alargadas. La cantidad de agua que drena por la red de alcantarillado puede tener máximos de 100 veces el caudal de aguas servidas en Europa central (Lange & Otterpohl, 2000). Los caudales de exceso siempre entran a los cuerpos de agua. Así que los estanques de retención de aguas mixtas sólo reducen la frecuencia de los rebalses. En general, la retención total de la carga de sustancias que entra a los cuerpos receptores sólo se ha reducido entre 5 y 25% por esta medida, según estudios en Suiza y Alemania (Lange & Otterpohl, 2000). Esa tasa de reducción no se encuentra en relación con los altos costos de inversión.

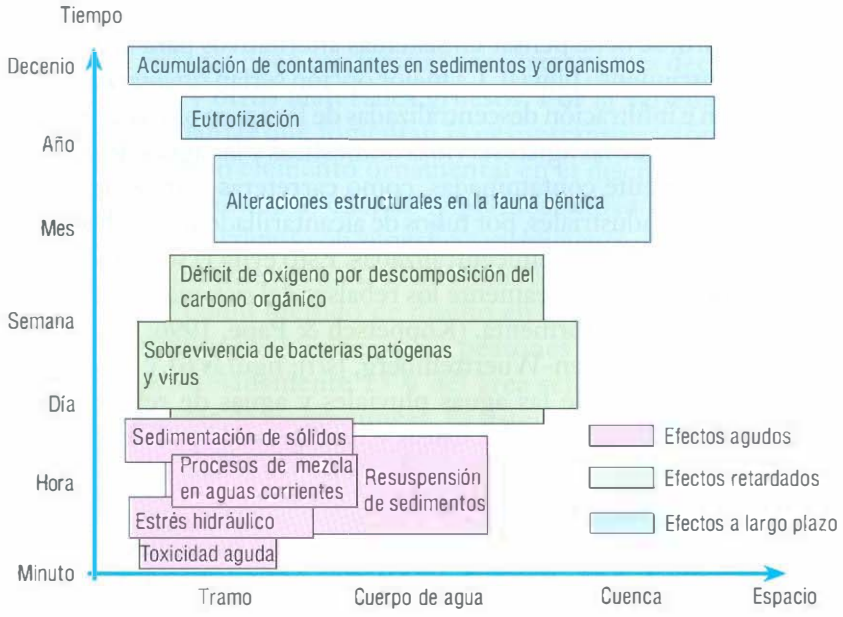
Los sistemas convencionales, generalmente, sólo prevén la purificación de las aguas de escurrimiento transportadas por la red mixta porque entran en su conjunto a una planta de purificación.

Por el *alcantarillado separado*, las aguas pluviales se descargan directamente a las aguas superficiales. Aparte de los costos elevados, aproximadamente 30 a 50% mayores a una red mixta, otra desventaja de una red separada es la posibilidad de conexiones erróneas de aguas servidas. Los sistemas separados tienen sus ventajas principalmente en áreas rurales por la poca contaminación de las aguas de escurrimiento en las zonas campestres. En zonas urbanas, especialmente las aguas de escurrimiento de las vías de tráfico, son altamente contaminadas.

Los *dos tipos de evacuación* son un problema para los cuerpos receptores, pero contienen diferente cantidad y distinta calidad de contaminantes. Las aguas de *alcantarillado separado* son mayores en cantidad y contienen los contaminantes mencionados arriba (ver también tablas 20 y 35). Las aguas de *rebalse de alcantarillado mixto* además comprenden todos los contaminantes típicos de aguas servidas domésticas y eventualmente industriales, pero son menores en cantidad y muy diluidas en comparación con las aguas servidas municipales porque los rebalses sólo ocurren durante eventos de precipitación alta.

Entradas de aguas pluviales y aguas servidas diluidas a los cuerpos de agua superficiales, por la red de alcantarillado, pueden ser de importancia local y regional. Dependiendo del caudal de las descargas y de sus ingredientes químicos (sustancias reductoras de oxígeno, nutrientes, contaminantes), se observan efectos agudos y retardados. Los efectos agudos en los cuerpos de agua son causados principalmente por las sustancias reductoras de oxígeno, en forma de materia orgánica y amonio. En aguas con valores altos de pH, el amonio se disocia a amoniaco, que es tóxico para peces y otros organismos acuáticos. Otro efecto agudo causado por las descargas hidráulicas altas es la deriva alta de las poblaciones de organismos bénticos. (Uhl, 2002).

Figura 80
Efectos de aguas de escurrimiento de precipitaciones en cuerpos de agua superficiales



(Fuente: Uhl *et al.*, 2003 a).

Soluciones:
Las medidas técnicas tienen que ser adaptadas a las emisiones, es decir, a la carga contenida en las aguas de escurrimiento y/o de rebalse, y a la necesidad de protección del cuerpo receptor individual, es decir, las concentraciones tolerables en el cuerpo de agua. Para la estimación de las medidas locales necesarias de protección de los cuerpos de agua se introduce un sistema de evaluación, con el cual se puede llegar a criterios para la necesidad y el alcance de un tratamiento eventual de los desagües. Los criterios usados son:

- La calificación de los cuerpos de agua (depende de caudal, pendiente, velocidad, carga hidráulica adicional existente por zonas pobladas).
- Influencias atmosféricas (contaminantes gaseosos y particulados, pH).
- Contaminación de las superficies de escurrimiento, dependiente de su uso y su ubicación (ver tablas 20 y 35).
- Calidad de las aguas mixtas de rebalse.
- Efecto de diferentes sistemas de tratamiento.

En base a esta evaluación se tiene que seleccionar el sistema óptimo para la eliminación de los contaminantes específicos existentes (Manual M153 de ATV, 2000).

Dependiendo de la carga de sustancias presentes en las aguas de escurrimiento, éstas pueden ser infiltradas de forma descentralizada (ver tabla 33) o se deben llevar a sistemas de tratamiento que pueden ser descentralizados o centralizados.

Para el futuro, se debe pensar en sistemas alternativos para la eliminación de las aguas de escurrimiento pluvial. La mejor opción serían *sistemas integrados modificados*: retención e infiltración descentralizadas de las aguas pluviales en su lugar de origen, y evacuación de las aguas servidas domésticas y las aguas de escurrimiento de superficies altamente contaminadas, como carreteras y áreas de parqueo con alto tráfico, y zonas industriales, por tubos de alcantarillado mixtos hacia plantas de purificación centralizadas o semicentralizadas. Esto evita la sobrecarga hidráulica de los ríos y disminuye drásticamente los rebalses del sistema mixto de alcantarillado durante eventos de tormenta. (Koppetsch & Pape, 1996; Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg, [s/f]; figuras 61 y 62).

Para el tratamiento de las aguas pluviales y aguas de rebalse de sistemas mixtos existen varias posibilidades físicas y biológicas de purificación.

Sistemas de tratamiento físico:
Como muchas sustancias contaminantes se adsorben a partículas, la *sedimentación* de sustancias particuladas logra una buena purificación de las aguas. Prerrequisito para la sedimentación es la ausencia de turbulencias causadas por la entrada del agua, que tienen que ser minimizadas por las medidas adecuadas en la entrada y salida del sistema.

Se pueden usar pozos de sedimentación de concreto, que además sirven como almacén temporal y evacuan el agua de forma retardada, directamente a un cuerpo receptor, o se combinan con sistemas de infiltración o lagunas de retención. En caso necesario, se pueden combinar con otros pozos adicionales para la separación de aceites y grasas flotantes. Se pueden aplicar en forma descentralizada y centralizada, como elemento de pretratamiento.

La *filtración* es otra medida física de retención de sustancias particuladas. Los pozos de infiltración pueden ser provistos con sacos filtrantes de un geotextil especial. El saco se retira y se limpia mediante chorro de agua cada 1 a 2 años.

También algunos de los otros sistemas de infiltración descritos en el subtítulo 3 de este capítulo tienen buenas características de eliminación de sustancias contaminantes por filtración, pero se deben usar sólo en caso de aguas poco contaminadas (ver tabla 33). La filtración por suelos con vegetación incluye la absorción y el intercambio de iones, además de procesos biológicos, por la flora y fauna presentes en el suelo.

Algunas *lagunas centralizadas de retención* logran la reducción de ciertas sustancias sólidas por procesos de sedimentación (Uhl, 2002). Generalmente el 80% de las sustancias contaminantes existentes en el escurrimiento de aguas pluviales es sedimentable, es decir, esa es la tasa máxima de efectividad de los estanques de retención; en aguas de rebalse de sistemas mixtos este grado de retención por sedimentación sólo logra entre 60 a 80% de efectividad (Brombach, 1996).

Tratamiento biológico de aguas pluviales:

Para este efecto se pueden usar los *humedales artificiales* descritos en el capítulo VI, subtítulo 2.2., que combinan efectos de filtración y de descomposición biológica.

Algunas ciudades optan por la combinación de varios sistemas centralizados consistentes en *lagunas de retención* para disminuir la carga hidráulica en los cuerpos receptores y sedimentar la mayoría de las suspensiones, y *filtros de suelo de retención con vegetación* acuática emergente, similares a los humedales artificiales descritos en el capítulo VI, subtítulo 2.2. Los filtros de suelo de retención, además de la filtración de las aguas por el suelo y la vegetación, tienen un espacio de retención encima del sustrato.

Debido a sus costos, los estanques y lagunas de retención no pueden retener y sedimentar el caudal completo generado; su dimensionamiento se debe adecuar en mayor grado a la carga hidráulica media que a las cargas hidráulicas extremas o las cargas de contaminantes.

Filtros de suelo de retención o humedales artificiales de retención:

Como gran parte de la carga de contaminantes es diluida o ligada a suspensiones finas no sedimentables, no son suficientes las lagunas de retención y sedimentación, y se deberían incluir filtros de suelo para el tratamiento de esta agua antes de su vertido a los cuerpos receptores.

Para el tratamiento de estas aguas muy diluidas se desarrollaron tipos especiales de filtros de suelo, con espacio de retención. En el suelo se realizan varios procesos de intercambio y eliminación de las sustancias contaminantes. Los más importantes son: la filtración, la absorción, la precipitación, la formación de complejos, y la descomposición biológica (Grotehusmann, 1999).

Los *filtros de suelo de retención* con vegetación semiacuática se han comprobado como sistemas efectivos para el tratamiento de las aguas pluviales provenientes de redes de alcantarillado separado y rebalses de alcantarillado mixto, así como aguas de escurrimiento de las vías de tráfico. Son aptos para el tratamiento físico-químico de sustancias diluidas, sustancias particuladas y sustancias ligadas a sustancias particuladas. Se logran buenas reducciones de sustancias particuladas, sustancias reductoras de oxígeno, amonio y parcialmente también de metales pesados. Una retención de fósforo, microorganismos y metales pesados está ligada a sustratos especiales y la modalidad de operación del sistema. Todavía se está estudiando la capacidad de retención de microorganismos patógenos en estos filtros. Por otro lado, los filtros de suelo también logran una retención importante de la carga hidráulica de las aguas pluviales, pero se recomienda su combinación con estanques o lagunas de retención. (Uhl, 2002).

Los filtros de suelo, además de purificar el agua, la retienen, así que disminuyen los picos de caudal. Por este motivo se puede dimensionarlos en base a objetivos hidráulicos y/o en base a objetivos de purificación. Si se trata sólo de retener cargas hidráulicas altas, las lagunas de retención resultan más eficientes.

Tabla 36
Aptitud de filtros de suelo de retención para el tratamiento de aguas de escurrimiento

Problemas en el cuerpo de agua	Efecto		Aptitud de filtros de suelo de retención
	agudo	a largo plazo	
Déficit de oxígeno	X	(X)	XX
Toxicidad de amonio	X		XX
Fósforo / Nitrógeno		X	(X)
Sustancias sólidas / metales pesados	(X)	X	XX
Higiene	X		?
Estrés hidráulico	X		X

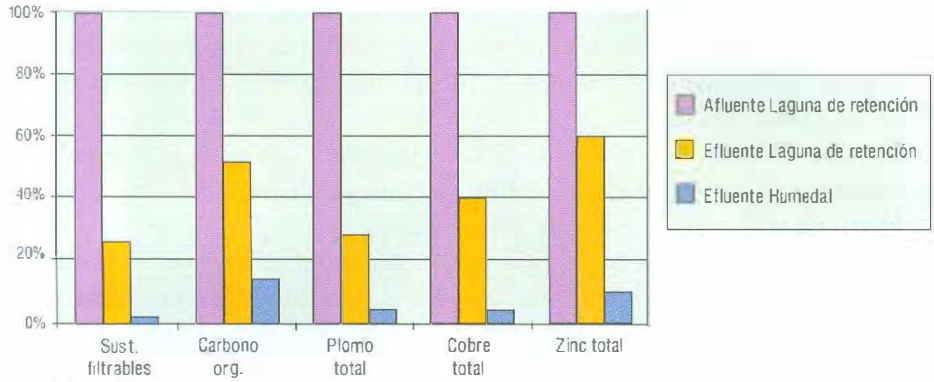
(X) efecto mínimo
X efecto existente
XX efecto grande

Basado en Uhl, 2002.

Actualmente, los filtros de suelo se usan para la purificación de aguas pluviales contaminadas y aguas mixtas pretratadas. Respecto a la descontaminación de las aguas, son más eficientes que las lagunas de pretratamiento de aguas pluviales y además son más económicos. (Haller, 1999).

En Hamburgo, a partir del año 1996 se han implementado las primeras plantas piloto, que comprenden un área de sedimentación y un filtro de suelo plantado con *Phragmites*. Las buenas experiencias en la purificación de las aguas pluviales se muestran en la figura 81. (Tegge, 1999).

Figura 81
Capacidad de purificación de la planta piloto Halenreie, en Hamburgo, Alemania



Se analizó el afluente a la laguna de retención de aguas pluviales, el efluente de la laguna de retención y el efluente del filtro de suelo de retención (humedal). Fuente: Tegge, 1999.

Todos los filtros de suelo de retención son sistemas de dos unidades. Están constituidos por un espacio de retención de las lluvias y un filtro de suelo como segunda unidad. El filtro se impermeabiliza hacia el fondo y se planta con *Phragmites*. El espacio de retención se construye encima del filtro. (Haller, 1999).

Filtros de suelo que son dimensionados adecuadamente en correlación con las cargas correspondientes y que tienen un pretratamiento adaptado a este sistema, tienen un tiempo de vida dependiente de la durabilidad de las instalaciones técnicas. Para estas plantas se calculan tiempos de uso de mucho más de 25 años. (Tegge, 1999; <www.bodenfilter.de/bodenfilter.htm>).

La implementación, diseño y dimensionamiento de filtros de suelo de retención tiene metas hidráulicas y metas de purificación. Entre las metas hidráulicas están la definición del desagüe máximo hacia un cuerpo de agua, la frecuencia de estas descargas máximas de caudal y la cantidad total de entrada de aguas tratadas. Las metas de purificación son la definición de la carga anual máxima de cierta sustancia emitida hacia un cuerpo de agua y la frecuencia de ciertas concentraciones máximas de una sustancia en la salida del filtro. Estos datos tienen que definirse en base a las características del cuerpo de agua correspondiente.

Metas hidráulicas:
Desagüe máximo hacia un cuerpo de agua, en cierto tiempo.
Frecuencia de ciertas concentraciones de caudal.
Cantidad total de aguas tratadas.

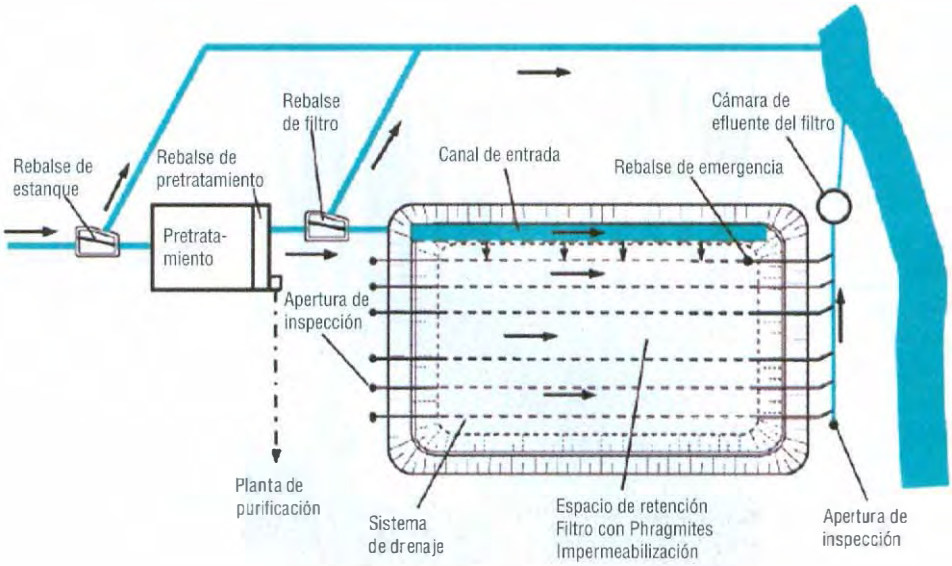
Metas de purificación:
Carga anual máxima emitida de cierta sustancia hacia un cuerpo de agua.
Frecuencia de ciertas concentraciones de una sustancia en la salida del filtro.

En la construcción de filtros de suelo de retención se deben incluir los siguientes elementos (figura 82) (según Uhl, 2002; Grotehusmann, 1999):

- Posibilidad de desvío; en la entrada al filtro se tiene que limitar la carga hidráulica a máximo 150 l/s x m² para evitar daños en la superficie del filtro. Por eso se tiene que introducir un rebalse de seguridad antes de la entrada de las aguas al filtro.
- Sistema de sedimentación para reducir las sustancias particulares y de esta manera evitar que el filtro se colme de manera prematura.
- Filtro de suelo con vegetación incluyendo:
  - Estanque impermeabilizado; se puede impermeabilizar el fondo del filtro con láminas plásticas, con láminas arcillosas geosintéticas o con impermeabilizaciones minerales en varias capas (figura 84).
  - Capa filtrante; sustrato de arena con contenido de carbonatos (espesor de la capa 0,75 a 1 m, granulometría 0 a 2 mm) (figuras 84 y 85b).
  - Capa de drenaje de grava (espesor de la capa mayor a 0,25 m, granulometría 2 a 8 mm) (figuras 84 y 85b).
  - Tubo de drenaje (DN 150) (figura 85b).
  - Vegetación semiacuática; la superficie del filtro se planta con *Phragmites*, una gramínea alta que protege el filtro contra colmatación por su superficie foliar, su capa de hojarasca y sus brotes (figura 86).
  - Pendiente de ribera con pasto (figura 83). Si la superficie disponible es reducida, se puede construir un muro de gaviones alrededor del espacio de retención, en vez de una pendiente con pasto.
- Drenaje con desagüe constante regulable. El caudal de salida se regula entre 0,01 y 0,03 l/s x m² de superficie de filtración para lograr velocidades constantes de filtración, tiempos adecuados de retención del agua en el filtro para garantizar su purificación y descargas homogeneizadas al cuerpo receptor.

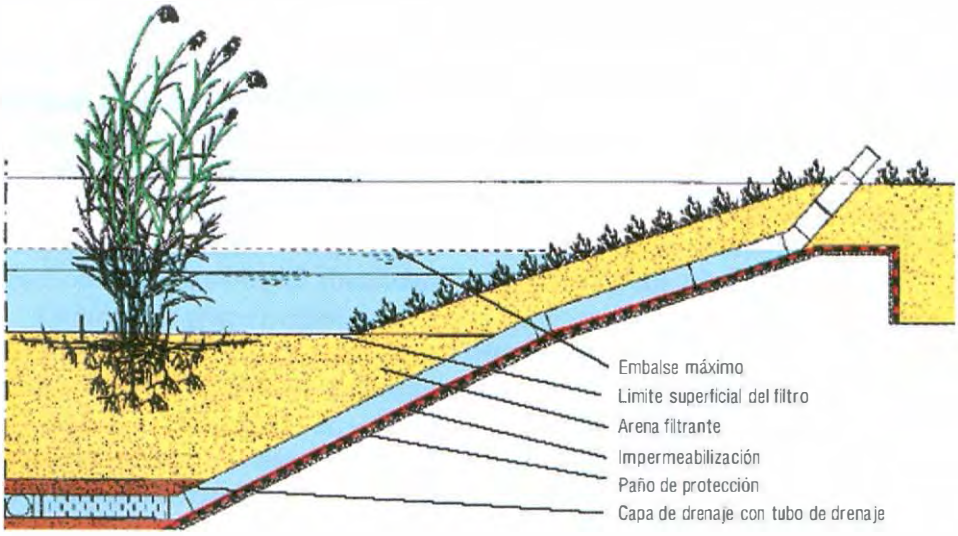
No se deben plantar árboles y arbustos en las cercanías del filtro para evitar sombra y la entrada de hojarasca.

Figura 82
Elementos de un filtro de suelo de retención



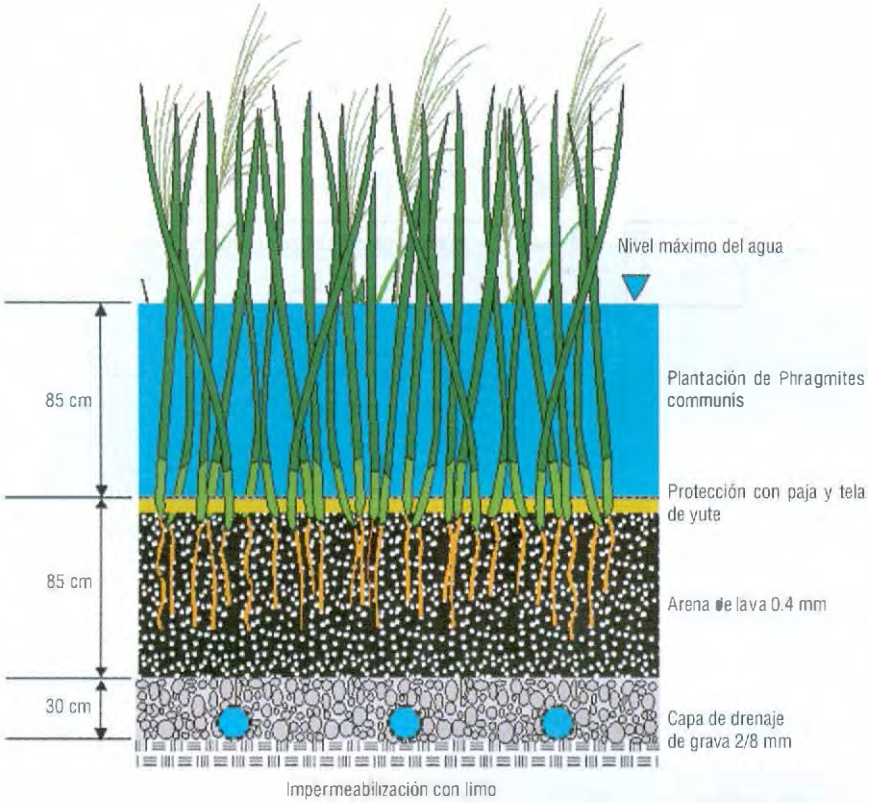
Fuente: Uhl *et al.*, 2003 a.

Figura 83
Corte vertical por el borde del filtro mostrando las capas de construcción



Fuente: Uhl *et al.*, 2003 a.

Figura 84
Capas del filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania



Fuente: Wagner, 2004.

Vía del agua por el sistema (figura 82) (Uhl, 2002):

1. El agua entra al sistema de sedimentación, donde se sedimentan la mayoría de las sustancias particuladas.
2. El agua pretratada entra al filtro de suelo, con caudal máximo de 150 l/s x m². Se debe distribuir rápida- y homogéneamente sobre la superficie del filtro.
3. El agua de entrada se almacena en un volumen libre del estanque encima del substrato (embalse de 0,5 a 2m de profundidad). El embalse no debe durar más de 48 horas.
4. El agua se infiltra y pasa por el sustrato de arena.
5. El sustrato retiene las sustancias particuladas restantes y las sustancias diluidas por varios mecanismos.
6. El agua pasa la capa de drenaje hacia el tubo de drenaje. Se tiene que calcular la estabilidad del filtro para la capa filtrante y la capa de drenaje. No se recomienda la introducción de un geotextil para la separación de las dos capas.
7. El tubo de drenaje lleva el agua a un sistema de salida controlada.

Sustratos: por experiencias anteriores, no se recomienda sustratos finos. En sustratos arcillosos la absorción es mayor, pero por la hidráulica del sistema se forman macroporos, lo que reduce la tasa de purificación. La permeabilidad del suelo no debe ser menor a 1×10^{-5} m/s. Un material homogéneo con curva granulométrica de alta pendiente tiene un espacio mayor de poros. Se recomienda arenas fluviales con cantos redondeados para proteger las raíces de las plantas y la edafofauna, de granulometría fina a media. Los materiales tienen que ser resistentes a la meteorización. Si se implementan varias capas de suelo, la granulometría debería aumentar desde arriba hacia abajo. Se tiene que tener cuidado en la introducción de sustratos de diferente granulometría, en base a las leyes de mecánica de suelos. (Uhl, 2002; Uhl, *et al.*, 2003 a).

Tabla 37
Características de sustratos para el funcionamiento básico de un filtro de suelo

Factor	Característica	Requerimiento	Recomendación	Justificación
Permeabilidad suficiente	$K_f = 1 \times 10^{-5}$ a 1.5×10^{-4} m/s Material resistente a meteorización	X X		Desagüe retardado controlado
Resistencia mecánica contra la corriente	Limitación del contenido de arcilla (A) y limo (L) A + L = menor 1%	X		Evita el escape de partículas del sustrato mismo
Capacidad alta de purificación	Curva de granulometria con mucha pendiente D_{60}/d_{10} = menor 4		X	Garantiza flujo homogéneo por el sustrato
	Limitación del contenido de grava G menor 1%		X	Gran superficie activa y capacidad de amortiguación contra alteraciones de carga
	Porosidad mayor al 20%, en capacidad de campo: Volumen de poros gruesos .		X	Aireación suficiente
	Capacidad alta de retención de agua: Capacidad de campo mayor a 6%		X	Garantiza el suministro de agua a plantas y microorganismos durante periodos secos
	Granos de arena redondeados		X	Garantiza flujo homogéneo, favorece poblamiento por plantas y edafofauna
	Contenido de carbonatos: 10 a 15% de masa total	X		Amortiguación de pH durante acidificación por nitrificación, evita traslado de metales pesados
Contenido mínimo de contaminantes en el sustrato	Mantenimiento de los valores Z0 * según LAGA * No usar materiales de reciclaje	X	X	Evita cargas de contaminantes originados en el sustrato

* LAGA = Reglamentación alemana.
* Z0 = Concentraciones mínimas de contaminantes inorgánicos y orgánicos, establecidas por LAGA, 1997

Fuente: Uhl, 2002.

El sustrato tiene que contener suficientes carbonatos (se recomienda 10 a 15%) para amortiguar los ácidos generados durante la nitrificación y para la estabilización del pH que inmoviliza los metales pesados depositados (Uhl, 2002; Uhl *et al.*, 2003 a).

La absorción de fosfatos disminuye cuando el pH sube porque los iones OH compiten con los iones PO_4 por los espacios de absorción. Por el contrario, la precipitación y absorción de metales pesados disminuye con pH ácido, al igual que la inmovilización de amonio. (Uhl *et al.*, 2003 a).

Dimensionamiento

Se define separadamente para las funciones de retención y purificación. Actualmente no existe una regla para el dimensionamiento de filtros de suelo. Depende del objetivo del tratamiento, de la entrada de sedimentos y de la modalidad de funcionamiento del pretratamiento. La capacidad de purificación del filtro depende de las características del sustrato, de la carga por superficie y del tiempo de retención del agua en el filtro. En sistemas de alcantarillado separado, la carga hidráulica anual máxima debería ser 40 m. En sistemas de tratamiento de aguas mixtas, como promedio anual la carga hidráulica permitida es máximo 30 - 40 m/año. En años extremos se pueden permitir 50 m/año. (Uhl, 2002).

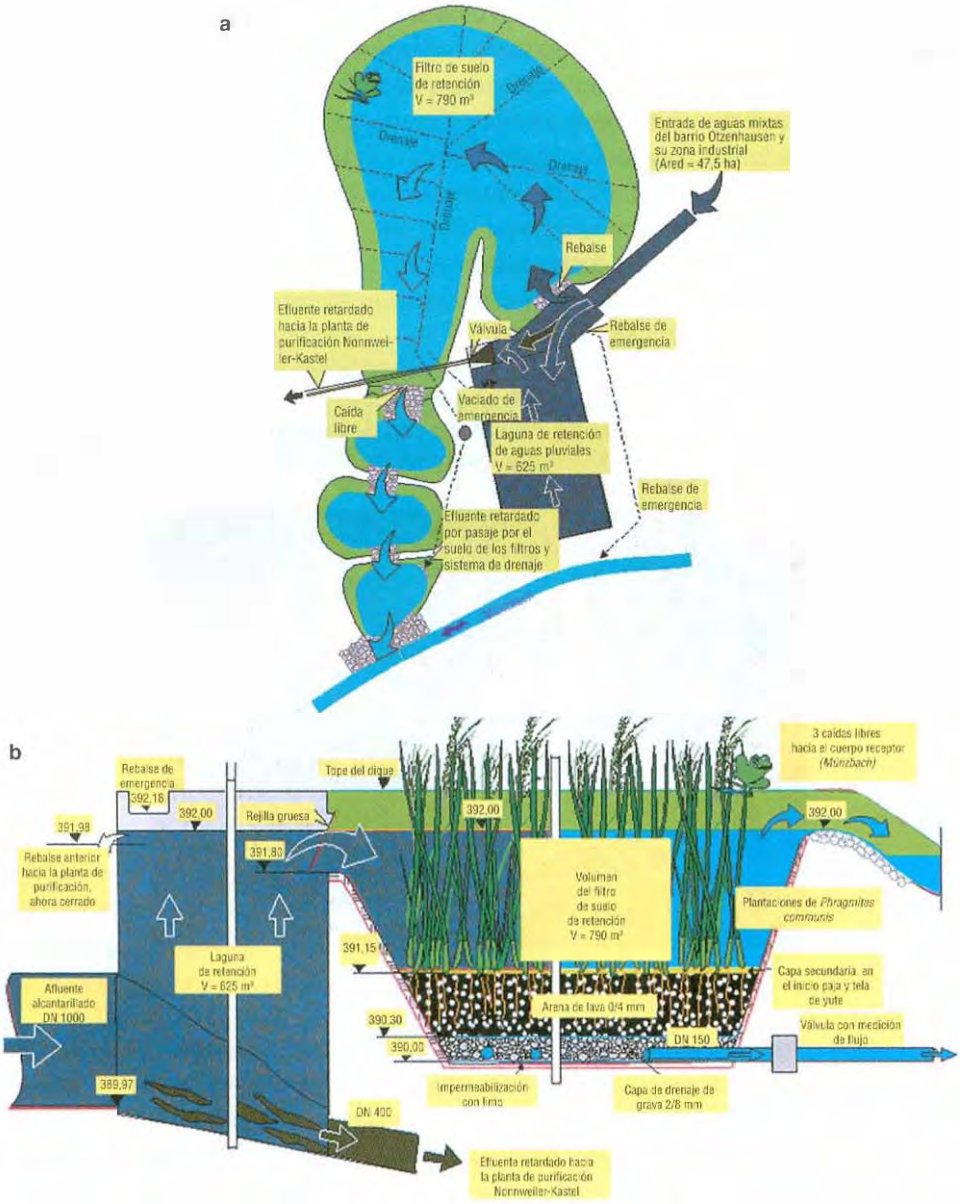
Tabla 38
Factores para el dimensionamiento de filtros de suelo de retención

Problema en el cuerpo de agua	Caudal retardado de evacuación Q_d	Frecuencia de rebalse n [1]	Tasa de eficiencia hidráulica	Velocidad de filtración v_f
	l/s	1/a	-	l/(s x m² A_{filtro})
Estrés hidráulico	gF [2]	0,5 - 2	-	-
Déficit de oxígeno	-	0,5 - 2	-	0.01 - 0,02
Amonio	-	0,5 - 2	-	0.01
Fósforo, nitrógeno	-	-	gF	gF
Sustancias sólidas, metales pesados	-	-	gF	0.03
Higiene	-	gF	gF	gF

1 depende del potencial de repoblamiento de los organismos.
2 gF = depende de la reglamentación para el cuerpo de agua específico.
Q = Caudal de desagüe.
n = frecuencia.
A_{filtro} = Superficie del filtro.

Fuentes: Uhl, 2002; Uhl *et al.* 2003 a.

Figura 85
Esquemas del filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania



a: plano del filtro Otzenhausen: b: corte longitudinal por el filtro Otzenhausen.
Fuente: Wagner. 2004.

Plantación

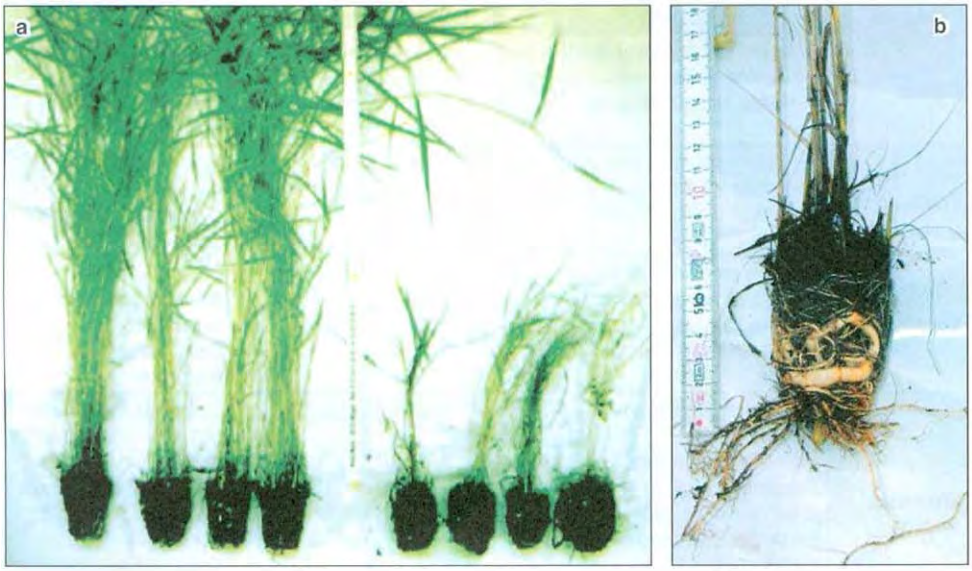
Se recomienda usar la gramínea *Phragmites* en monocultivo, por su buena adaptabilidad a diferentes tipos de suelo, salinidad y amplitudes grandes de pH entre 4,8 y 8,2, por su crecimiento rápido, y su descomposición lenta formando capas de material decaído con grandes poros (figura 86). Este material en descomposición y la sombra de las plantas altas suprimen el crecimiento de otras especies indeseadas. Se estima que *Phragmites* paulatinamente forma una capa de hojarasca que provee por lo menos 10 m^2/m^2 de superficie adicional para la sedimentación de partículas finas, evitando de esta manera la colmatación del sustrato del filtro, además de funcionar como intercambiador de cationes absorbiendo amonio y metales pesados.

Figura 86
Capa de material vegetal de *Phragmites* en descomposición, del filtro *Geilenkirchen-Flahstrasse*, Alemania, después de dos años de funcionamiento

Fuente: Uhl *et al.*, 2003 a.

Las plantas jóvenes de *Phragmites* son sensibles a sequías, inundaciones altas y heladas, además no pueden competir todavía con otras especies. Por eso, las plantas precultivadas tienen que ser bien desarrolladas, con edad de por lo menos un año (figura 87), y se introducen al comienzo de la época de crecimiento. Se recomienda introducir 4 a 6 plantas de alta calidad por metro cuadrado. Para apoyar la adaptación y el crecimiento de las plantas luego de la plantación, se inunda el sistema con agua limpia hasta la superficie del sustrato. Al final del verano, paulatinamente debe bajar el nivel de agua, generalmente por la propia evapotranspiración de las plantas, incentivando así el crecimiento de las raíces. Durante la formación de una cobertura densa, es necesario eliminar regularmente otras especies.

Figura 87
Plantas y rizomas de Phragmites aptas para su plantación



a: plantas de *Phragmites* de diferente calidad. Izquierda: plantas precultivadas por dos años. Derecha: plantas precultivadas por un año; b: rizoma en conglomerado de raíces
Fuente: Uhl *et al.*. 2003 a.

Operación y mantenimiento

El filtro se puede usar por primera vez después de un año, para el tratamiento de las aguas contaminadas, a fin de garantizar el desarrollo de la vegetación (*Phragmites*). La cobertura vegetal tiene que ser completa antes de la primera carga. El sistema es capaz de aguantar aproximadamente 30 eventos de embalse al año, sin pérdida de efectividad. Se recomienda el vaciado total del sistema después de cada carga, para oxigenar el sistema de poros. En la capa de drenaje, debajo de los tubos de drenaje, se puede mantener una zona saturada de 15 cm de espesor, asegurando humedad para plantas y microorganismos durante periodos de sequía. Se debe minimizar la entrada de sustancias particulares. Sobre todo las entradas de suspensiones, por ejemplo, desde zonas de edificaciones nuevas y el ingreso de aguas ajenas, pueden causar problemas en la operación. (Uhl, 2002; Uhl *et al.*, 2003 a).

Tabla 39
Medidas para el mantenimiento de filtros de suelo de retención

Lugar	Medidas	M	S	V	Requ.	Rec.	Objetivo
Cuenca	Evitar ingreso de sedimentos a la red de alcantarillado.	X	X	X	X		Disminución del ingreso de sólidos.
	Minimizar entrada de aguas ajenas.	X	X	X	X		Evitar inundación permanente del filtro.
Pretratamiento	Controlar función de elementos de entrada y salida.	X	X	X	X		Operación regular.
	Sacar regularmente los lodos.	X	X	X	X		Disminución de entrada de sólidos.
Entrada	Control y reparación de daños después de eventos fuertes de precipitación.	X	X	X	X		Protección contra erosión en filtro y vegetación.
	Limpiar sedimentos en la entrada.	X	X	X		X	Disminución de entrada de sólidos.
Vegetación del filtro	Eliminar vegetación ajena (hierbas y arbustos)	X	X	X	X		Desarrollo bueno de vegetación; aseguramiento de filtro, drenaje y pendiente de la ribera; evitar entrada de sedimentos por la poda.
	¡No podar o cosechar *Phragmites*!	X	X	X		X	
	Poda regular del pasto en pendientes, con retiro de material podado.	X	X	X	X		
	Riego de la vegetación durante fase de adaptación.	X	X	X		X	Desarrollo de vegetación densa.
Superficie del filtro	Pisar filtro sólo por excepción en tiempo seco o heladas.	X	X	X		X	Evitar compactación.
	Control y reparación de daños de erosión después de cada carga.	X	X	X		X	Evitar flujos de corte circuito.
Sustrato filtrante	Asegurar y controlar vaciado total del filtro después de cada carga.	X	X	X	X		Aireación del filtro.
Drenaje	Inspección del sistema de drenaje cada cinco años (entrada de raíces a los tubos, precipitaciones de hierro, capa impermeable, sólidos).	X	X	X	X		Mantenimiento de funciones.
	Limpieza y eliminación de raíces, según requerimiento.	X	X	X	X		
Salida	Control de función de elementos de salida.	X	X	X	X		Garantía para el desagüe retardado regular.
Alrededores	¡No plantar árboles!	X	X	X	X		Evitar sombra y entrada de hojarasca.
	Poda una o dos veces al año.	X	X	X		X	

M = Red de alcantarillado mixto
S = Red de alcantarillado separado
V = Escurrimiento de vías de tráfico
Requ. = Requerimiento
Rec. = Recomendación

Basado en Uhl *et al.*, 2003 a.

Figura 88
Filtro de suelo de retención Otzenhausen, Alemania

a: filtro de retención; b: zona de ingreso de las aguas con rejilla gruesa; c: zona de ingreso de las aguas, vegetación bajo carga hidráulica normal. Se observan las medidas contra la fuerza de erosión del agua.
Fuente: Wagner, 2004.

5. Rol de los techos naturados en la retención de aguas pluviales y contaminantes

Desde hace más de 1.000 años se conocen las ventajas de los techos naturados para protegerse contra el clima frío en el norte de Europa. El techo se construía de troncos de madera cubiertos de varias capas de corteza, finalmente tierra y tepes de pasto (Koenig, 1996; re-natur, 2003).

En Alemania, hace 100 años se construyeron techos de asfalto con capas de arena, grava y vegetación para proteger el asfalto contra el riesgo de incendios. Generalmente las plantas no se sembraban, sino se introducían naturalmente por el viento y los pájaros. (re-natur, 2003).

Durante la Segunda Guerra Mundial en Hamburgo se implementaron techos con vegetación en dos urbanizaciones, para camuflarlas durante los ataques aéreos. Estos techos todavía existen, tienen una vegetación diversa de aproximadamente 30 especies de pastos y hierbas, todo eso sin mantenimiento. (re-natur, 2003).

Actualmente, los techos naturados se implementan principalmente por razones ecológicas y estéticas, para mejorar el balance energético de la casa y como protección contra ruidos. Ofrecen biótopos para flora y fauna, filtran polvos y gases del aire, mejoran el clima urbano y almacenan humedad. (Koenig, 1996; re-natur, 2003).

Figura 89

Techos naturados de forma extensiva e intensiva con diferente inclinación

Fuente: <www.re-natur.de>.

La medida más fácil de sustituir los terrenos sellados por edificios es el enverdecimiento de los techos. Los techos naturados funcionan como una esponja y retienen en gran parte las aguas de lluvia. Muestran un escurrimiento significativamente menor que otros techos y pueden usarse como superficies de evapotranspiración y retención local de las aguas pluviales. Para este efecto se usan no sólo techos planos, sino también techos inclinados. Su gran capacidad de retención de aguas y de contaminantes atmosféricos es la razón para favorecer su implementación en el ámbito urbano. En la ciudad de Berlín (Alemania), durante varios años se incentivó la instalación de techos naturados por el gobierno municipal, de esta manera se logró una cubierta de varias hectáreas de techos verdes en la ciudad. En la ciudad de Hannover (Alemania) se piensa ordenar la naturación para techos hasta con 20 grados de inclinación, especialmente por su capacidad de retención de aguas pluviales (Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994).

Existen varios estudios sobre la capacidad de retención para aguas pluviales en los techos naturados (Mann, 2003; Henze com. pers., 2003; Uhl *et al.*, 2003b; Schmidt, 2003b; UFA-Fabrik, 1999a y muchos otros). Generalmente, en Europa central se registra entre 40 y 80% de retención de las precipitaciones anuales. Las mediciones se realizaron con precipitaciones artificiales y bajo condiciones naturales.

Pero estos datos se tienen que tomar con cuidado porque la capacidad de retención depende de varios factores, primeramente del espesor de la capa de sustrato vegetal y del tipo de sustratos y plantas usados. Tampoco son transferibles a otras zonas climáticas con diferente distribución, frecuencia e intensidad de las preciptaciones. Aun en la misma zona climática, difieren sustancialmente. La pendiente del techo influye principalmente en los caudales pico liberados. Los techos con pendiente tienen tasas de retención semejantes a techos planos, pero un mayor caudal pico. (Mann, 2003; Uhl *et al.*, 2003b).

Por este motivo se desarrollaron programas de simulación que calculan exactamente los volúmenes de desagüe anual, el promedio de desagüe anual a largo plazo, los desagües pico y sus frecuencias probables. Estos cálculos se basan en la forma de construcción (capas de sustrato y vegetación), la pendiente del techo, la superficie naturada y precipitaciones locales, con mediciones continuas cada cinco minutos durante varios años (Mann, 2003).

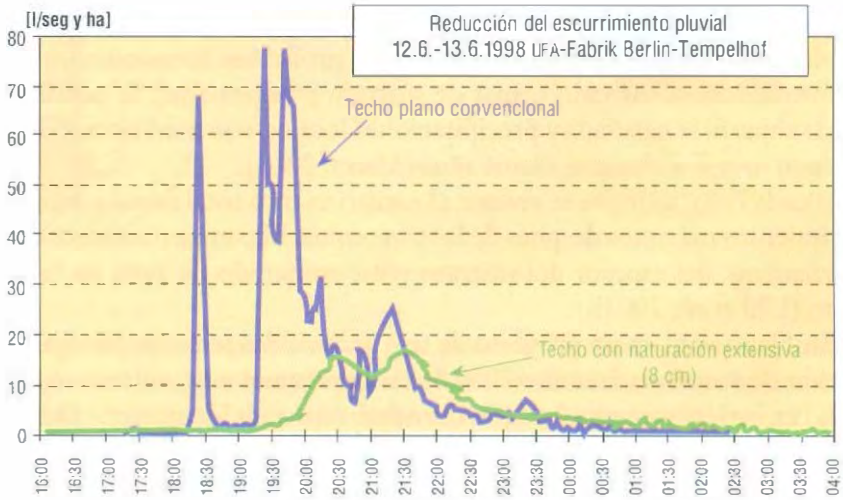
En cada caso, siempre se reduce el escurrimiento total anual y también los escurrimientos máximos después de las tormentas. El comportamiento depende primariamente del espesor del sustrato y del contenido de agua en la capa de sustrato (Uhl *et al.*, 2003b).

En Hannover, en un proyecto de tres años de duración, se ha verificado la retención de aproximadamente 70% de las precipitaciones, en verano entre 70 a 100%, en invierno entre 40 y 50% (Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994). En Berlín se cuenta con varios estudios de retención de aguas pluviales en techos naturados, donde se llega a resultados semejantes a los de la ciudad de Hannover.

Figura 90
UFA-Fabrik, Berlín, Alemania
Medición de factores climáticos y capacidad de retención de aguas

Foto. Margot Franken.

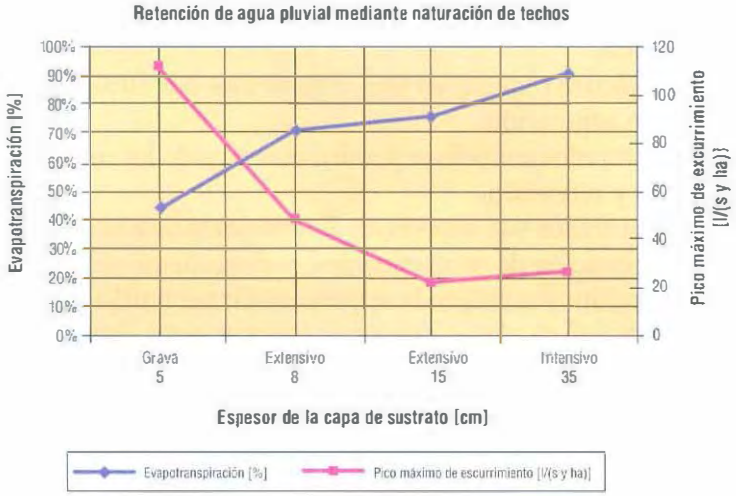
Figura 91
Reducción del escurrimiento de las aguas pluviales en un techo naturado extensivamente, en la UFA-Fabrik, Berlín, Alemania



Fuente: Schmidt, 2003b.

En Berlín, actualmente se estudió también la retención de aguas pluviales en plataformas naturadas de rieles de tranvía. Se observó una retención aproximada del 60% en el promedio anual, en invierno son aproximadamente 9% y en verano 80 a 90%. Si el sustrato contiene poca humedad en el comienzo de la precipitación, hasta 20 litros pueden ser retenidos completamente en la capa de sustrato y vegetación. La retención baja en invierno se explica por la saturación alta constante de las plataformas naturadas. La retención en verano depende mucho de la situación climática actual del año. (Henze, com. pers., 2003).

Figura 92
Retención de aguas pluviales en techos naturados



Fuente: Schmidt 2003 b.

En una planta piloto en Krauchenwies-Goeggingen (Alemania) se realizó un extenso proyecto de investigación. Se han obtenido datos de 18 parcelas de diferente sustrato y de diferente inclinación, con mediciones durante dos años, bajo condiciones climáticas reales. La retención era de 60% en promedio, usando naturación extensiva, y hasta 85% usando naturación intensiva. Techos con naturación extensiva con capas de sustrato de sólo 5 cm de espesor mostraron menores tasas de retención, aproximadamente 30% durante el verano y 55% durante el invierno. Los escurrimientos máximos de los techos verdes, en un 90% de los casos, no sobrepasaron 10 a 15 litros/seg x ha. Los escurrimientos máximos, con dos excepciones, oscilaron entre 35 y 70 litros/seg x ha. Los techos inclinados hasta 15 grados se distinguieron mínimamente de los techos planos. La permeabilidad del sustrato permite la infiltración total de las aguas de precipitación, evitando escurrimientos superficiales, también en techos inclinados. Hasta una inclinación de 15 grados, nunca se observó escurrimientos superficiales. La capacidad de retención aumenta hasta un espesor del sustrato

de 15 cm, un mayor espesor de sustrato ya no tiene influencia significativa. (Uhl *et al.*, 2003b).

A escala mundial se cuenta con muy pocos estudios. Los primeros resultados se obtuvieron en un techo naturado de la Universidad de Chapingo, en México. Con una precipitación anual de 840 mm, se midió retenciones de hasta más de 90%. La formación de rocío en las plantas, durante la noche, las mantiene en buenas condiciones durante las largas épocas de sequía. (Henze com. pers., 2003).

Ventajas de techos naturados (según Mann, 2003):

- Los techos con naturación extensiva y poco espesor de sustrato ya retienen entre 40 y 70% de las precipitaciones en promedio anual. El comportamiento del escurrimiento se puede calcular exactamente en base a datos regionales de precipitación.
- Los caudales pico se reducen en techos naturados por 50%, en comparación con techos sin vegetación.
- Los techos naturados también se pueden usar cuando los suelos no permiten la infiltración y retención.
- Los techos naturados son superficies de compensación ecológica.
- Aportan a la filtración de contaminantes, mejoramiento del clima local, disminución de ruidos y protegen la impermeabilización del techo.

Los techos naturados son filtros de suelo con vegetación, donde se realiza una retención y descomposición elevada de contaminantes en la capa del sustrato enraizado. Las aguas de escurrimiento de estos techos son aptas para su uso directo, en riego y en el barrido de inodoros. Como el techo en este caso funciona como capa filtrante, no se necesitan filtros adicionales antes del almacenamiento del agua. Por el contenido de sustancias húmicas, las aguas de escurrimiento muestran una ligera coloración café, por lo que no se recomienda usarlas en el lavado de ropa. Para minimizar la coloración, los sustratos del techo deberían contener poca materia orgánica. En el dimensionamiento de la cisterna de almacenamiento se debe tomar en cuenta la retención y evaporación de aproximadamente 40 a 60% del agua pluvial. (fbr *et al.*, 2001).

6. El agua en el concepto urbanístico

El uso no sostenible del agua en nuestras sociedades modernas tiene mucho que ver con la no visibilidad del agua en nuestro entorno (Reussig, 2000). Hemos perdido la relación natural con las características vitales del agua. El hecho de hacer más visible el elemento agua, así como su manejo, en nuestro entorno, es un prerrequisito para un cambio mental y de nuestras actitudes acerca de su valoración y uso.

En las ciudades, generalmente todas las aguas, las servidas y las pluviales, se evacuan directamente y se llevan a un cuerpo receptor o a una planta de purificación. Los ríos urbanos se canalizan o se entuban para evitar inundaciones y ganar espacio. Por otro lado, el agua se usa como elemento ornamental en las fuentes de las plazas, suministradas de agua potable, y se crean pequeñas lagunas en las áreas verdes. La primera tarea se deja a los ingenieros sanitarios, la segunda a los arquitectos paisajistas.

Para cambiar esta situación se necesita el trabajo conjunto de estas disciplinas, uniendo las funciones ecológicas, sociales y culturales del agua. El agua tiene que hacerse otra vez visible en el espacio de la ciudad, donde puede cumplir sus funciones ecológicas de mejoramiento climático y de evaporación, retención e infiltración contra inundaciones, y con sus funciones sociales y ornamentales, creando espacios de encuentro, juego y recreación. Al mismo tiempo, el ciudadano tendrá opción de conocer, experimentar y participar en los ciclos naturales del agua. Especialmente el agua pluvial, se debe incluir en la planificación urbana y arquitectónica. La planificación de superficies de infiltración y lagunas de retención en las áreas verdes, y la renaturación de los ríos urbanos crean valiosos espacios de recreación y hábitats para flora y fauna, lo que al mismo tiempo aumenta la capacidad de autopurificación de estos ecosistemas. El agua pluvial se puede llevar en canales abiertos y usarse para el abastecimiento de fuentes ornamentales y para juegos creativos.

6.1. Elementos estéticos en el espacio urbano

La implementación de elementos estéticos comienza con las canaletas de las edificaciones que dejan rebasar las aguas libremente a canales abiertos. Canaletas (figura 93) y canales abiertos (figura 94) deben integrarse en el diseño de los espacios públicos. Estos canales someros se pueden realizar también con materiales permeables como adoquín con ranuras abiertas, para infiltrar el agua parcialmente al subsuelo. Acequias en los bordes de las carreteras son la medida más simple y económica para evaporar e infiltrar las aguas pluviales y no necesitan mayor mantenimiento que las áreas verdes en general, sólo que no se pueden implementar cerca de las edificaciones para evitar daños constructivos por humedad. La distancia mínima tiene que ser 6 m.

Figura 93
Canaleta "abierta" con cama de infiltración de grava gruesa en el Colegio Salem, Alemania del Sur

Foto: Margot Franken.

Figura 94
Ejemplos de canales abiertos en el espacio urbano

a: canales abiertos llevan el agua a una depresión, pasando por un borde de bloques de cemento. Zona industrial, Berlín, Alemania. Foto: Margot Franken; b: canales abiertos en el centro de la ciudad llevan el agua hacia los árboles y a la canalización. Eckernfoerde, Alemania del Norte. Foto: Margot Franken; c: canal abierto en el centro de la ciudad de Freiburg, Alemania del Sur. Foto: Karl-Heinz Raach, Merzhausen; d: canal abierto en el centro de la ciudad de Freiburg, Alemania del Sur. Foto: Margot Franken.

Usando aguas pluviales para el suministro de fuentes y otros juegos de agua (figuras 95 y 98) se cuida el consumo del agua potable, y se da la posibilidad de crear espacios de agua para la climatización de la ciudad y la recreación, incluyendo juegos para niños. La energía necesaria para el bombeo de las aguas se puede generar por paneles solares o bombas de viento.

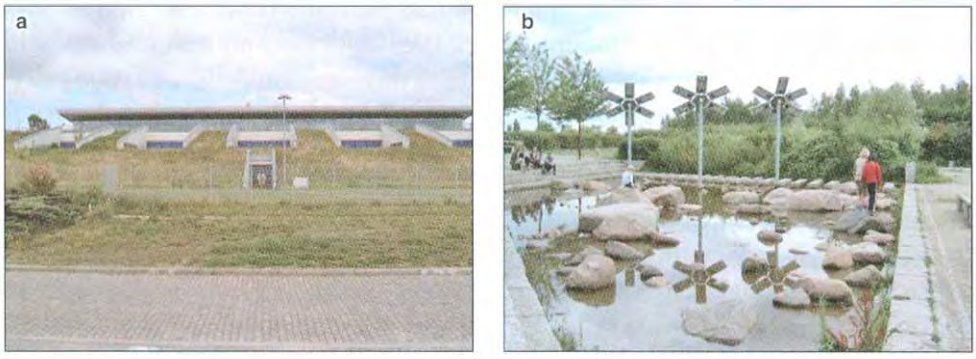
El Coliseo Max Schmeling Halle, en Berlín, es un buen ejemplo para el manejo integrado de las aguas. Consiste en la naturación de los techos del coliseo para la retención y filtración de las aguas pluviales (figura 96 a), de donde se llevan las aguas de escurrimiento en canales abiertos a un humedal artificial para su purificación y finalmente a una laguna de retención de las aguas que sirve al mismo tiempo como espacio de recreación. Los paneles solares en forma de girasol suministran la energía para la recirculación de las aguas en el sistema (figura 96 b).

También las construcciones técnicas se dejan integrar de forma visible a los espacios de recreación (figura 97).

Figura 95
Integración de las aguas pluviales al diseño arquitectónico y de plazas

a: "Fuente" de agua pluvial Gummersbach, Alemania; b: Gradas con cascadas Virbela Ueberlingen, Alemania; c: Turbulencias en obstáculos "Fuente" de agua pluvial Gummersbach, Alemania; 5d: Pared de agua pluvial en un banco, para la climatización del edificio Gummersbach, Alemania. Fotos: Margot Franken.

Figura 96
Conjunto con función múltiple en la zona residencial Prenzlauer Berg, en Berlín, Alemania

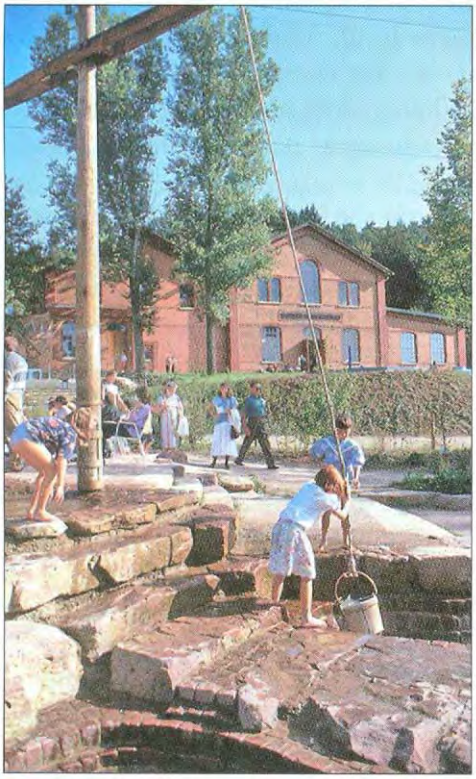


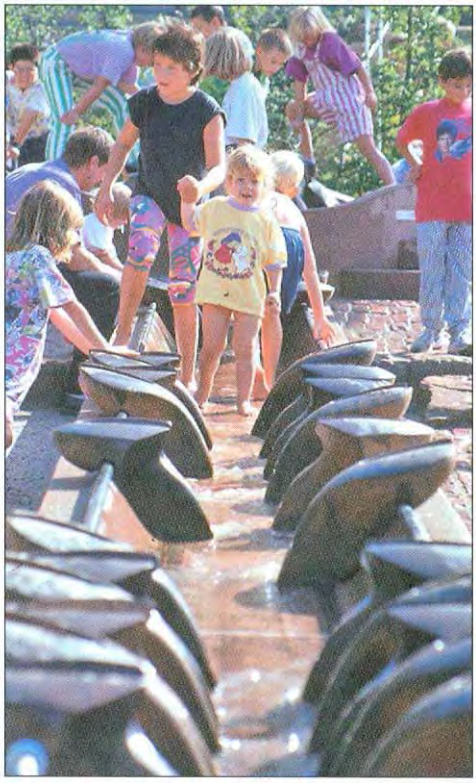
a: techos naturados Coliseo Max-Schmeling-Halle, Berlín, Alemania; b: sistema integrado de manejo de aguas pluviales del mismo Coliseo. Fotos: Margot Franken

Figura 97
Cisterna de aguas pluviales integrada a un campo de juegos para niños, Urbanización Hannover-Kronsberg, Alemania

Foto: Margot Franken.

Figura 98
Parque de recreación con juegos de agua pluvial Pforzheim, Alemania





Fotos: Atelier Dreiseitl.

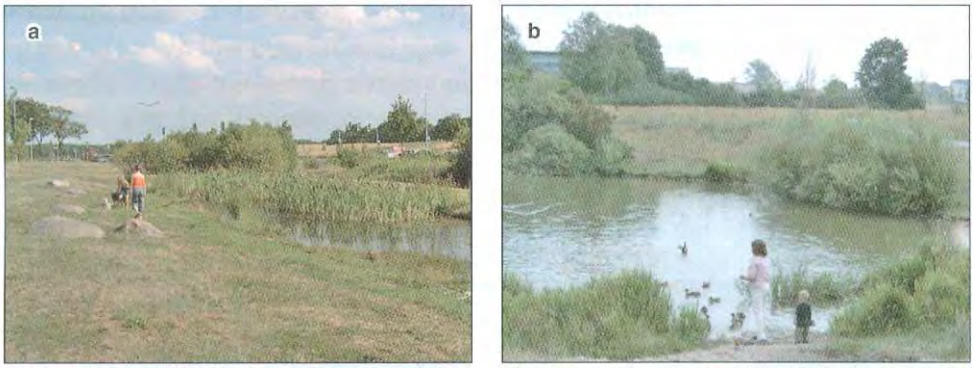
6.2. Lagunas de retención centralizadas

En áreas urbanas densamente pobladas no es posible retener, infiltrar y reciclar las aguas pluviales en su totalidad de forma local. Se tiene que prever otros métodos de retención y descarga retardada a los cuerpos de agua, en forma de lagunas de retención de las aguas de lluvia como elementos ecológicos y estéticos en las áreas verdes, y eventualmente zonas naturales de inundación al lado de los ríos.

Las lagunas de retención de aguas de lluvia son una medida frecuente para evitar los picos de caudal en los cuerpos receptores. Estabilizan y mejoran el balance de agua, permiten una disminución significativa de las cantidades de carga de contaminantes y bajan los picos de caudal. Evitan el ingreso directo de aguas de escurrimiento contaminadas al cuerpo receptor. También cumplen funciones en la provisión de hábitat para animales y plantas, si se implementan de forma natural. Por otro lado, enriquecen el paisaje y son lugares de recreación frecuentados.

Su construcción es costosa, y por este motivo no se pueden dimensionar con el tamaño necesario para purificar todo el volumen de agua almacenada antes de su rebalse al cuerpo receptor, pero se pueden combinar con áreas de descontaminación de aguas de escurrimiento, en forma de humedales construidos (ver capítulo VII, subtítulo 4), para aguas de escurrimiento fuertemente contaminadas provenientes de zonas industriales y de carreteras con alto tráfico. Siempre se tiene que procurar un equilibrio entre el volumen necesario para retener la carga hidráulica, y el volumen deseable para su purificación.

Figura 99
Lagunas de retención de aguas pluviales en Alemania



a: laguna de retención e infiltración, con purificación por la vegetación acuática. Berlín, zona industrial y residencial; b: laguna de retención Anecamp. Urbanización Hannover-Kronsberg. Fotos: Margot Franken.

6.3. Renaturación de cuerpos de agua

Durante décadas se aplicaron medidas técnicas de protección contra inundaciones, generación de energía hidroeléctrica y otras, regulando los cuerpos de agua según sus usos, lo que ha llevado a perturbaciones del balance natural y la disminución de biotopos y especies. Esta forma de regulación tiene efectos significativos, por ejemplo, en las aguas corrientes (según Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994):

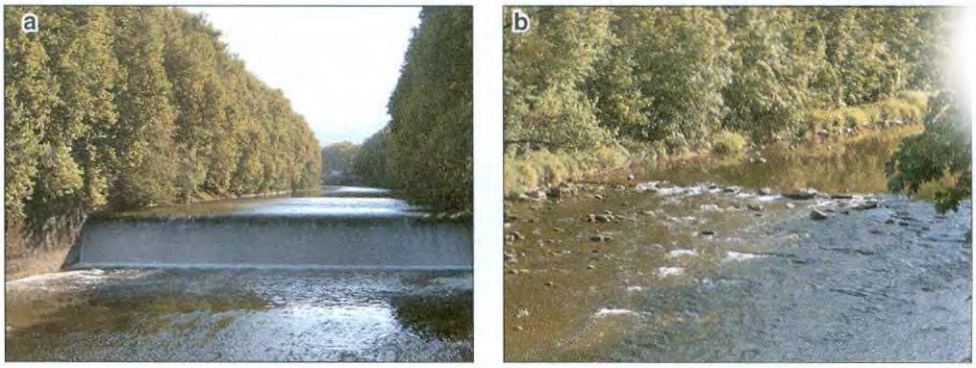
- Acelera la velocidad de flujo por la alteración de los perfiles transversales y longitudinales.
- Iguala los sustratos del lecho y de las riberas, se usan materiales ajenos al lugar.
- Disminuye las zonas de inundación.
- Altera las condiciones de luz en el cuerpo de agua por la eliminación de árboles y arbustos ribereños.
- Interrumpe el paso de animales, principalmente peces por la inclusión de ramplas, diques etc.
- Disminuye los nichos ecológicos para fauna y flora acuática y semiacuática.
- Por otro lado, el hábitat se altera continuamente por las medidas intensivas para su mantenimiento.

Las alteraciones mayores se realizaron en los cuerpos de agua urbanos. En los últimos años cambiaron los conceptos y la regulación natural ganó importancia. Se reconoce más la importancia ecológica de los cuerpos de agua y el hecho de que no se debe interrumpir sus relaciones con el medio terrestre y la cuenca en general.

Cada cuerpo de agua es un sistema individual. La regulación debe tomar en cuenta esa singularidad para mantener la diversidad. Por otro lado, no se pueden formular guías o reglamentos uniformes para la regulación y el mantenimiento de las aguas superficiales.

La renaturación de los cuerpos de agua retarda el caudal y así complementa los sistemas de retención de aguas. De esta manera, también se logra una infiltración significativa de las aguas de lluvia. (Landeshauptstadt Hannover - Der Oberstadtdirektor - Umweltdezernat, 1994).

Figura 100
Río urbano en el centro de la ciudad de Zúrich, Suiza



a: río Sihl canalizado con caídas artificiales; b: río Sihl renaturado.
Fotos: Margot Franken.

VIII

Estudios de caso

Los proyectos descentralizados tienen apoyo en todo el mundo y se multiplican exponencialmente.

1. Países industrializados

Mundialmente, Alemania es el país más avanzado en el campo de técnicas y manejo de agua, donde los conceptos descentralizados se desarrollaron en mayor grado y donde la legislación de los estados federales ya toma en cuenta y favorece estos conceptos. Por este motivo, para el análisis de los estudios de caso se han escogido principalmente los ejemplos de Alemania.

1.1. Urbanizaciones ecológicas y otros proyectos

1.1.1. Urbanización ecológica Flintenbreite, Luebeck, Alemania

La descripción se basa en las publicaciones de Oldenburg & Otterpohl, 2002 y <www.flintenbreite.de>.

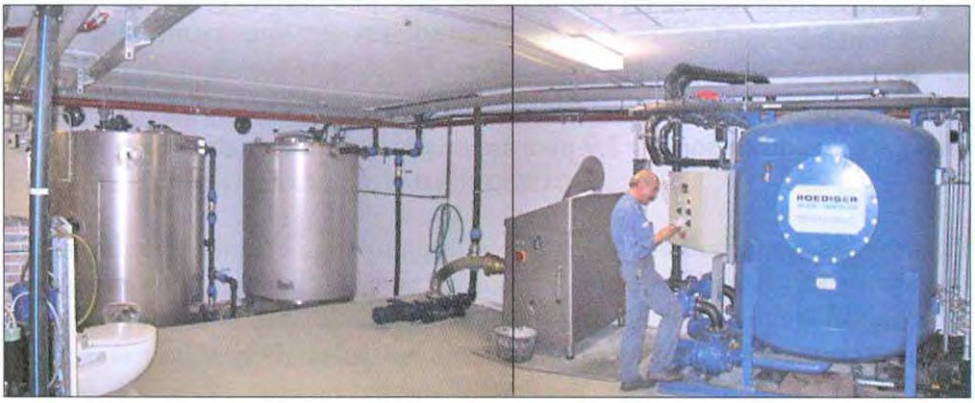
Se trata de una urbanización ecológica cerca de Luebeck, en el norte de Alemania, para 350 habitantes, situada en un área de 5,6 ha, de las cuales 2,7 se usan para las edificaciones y 2,9 para áreas verdes y cuerpos de agua.

Figura 101
Casas en la urbanización

Fuente: <www.flintenbreite.de>.

La urbanización cuenta con infraestructura propia de suministro de agua, energía y manejo de desechos, que comprende la red de calefacción vecinal, el suministro de energía, la distribución de agua potable, la eliminación de las aguas servidas y una red de comunicación. Todo el equipamiento técnico (equipos para la generación de calor y energía, equipos de distribución, sistema de vacío, planta de biogás) está ubicado en una casa comunal céntrica (figura 102), y se opera y mantiene por un encargado permanente. La urbanización no está conectada al alcantarillado público puesto que las aguas servidas se manejan dentro de la urbanización (Oldenburg & Otterpohl, 2002).

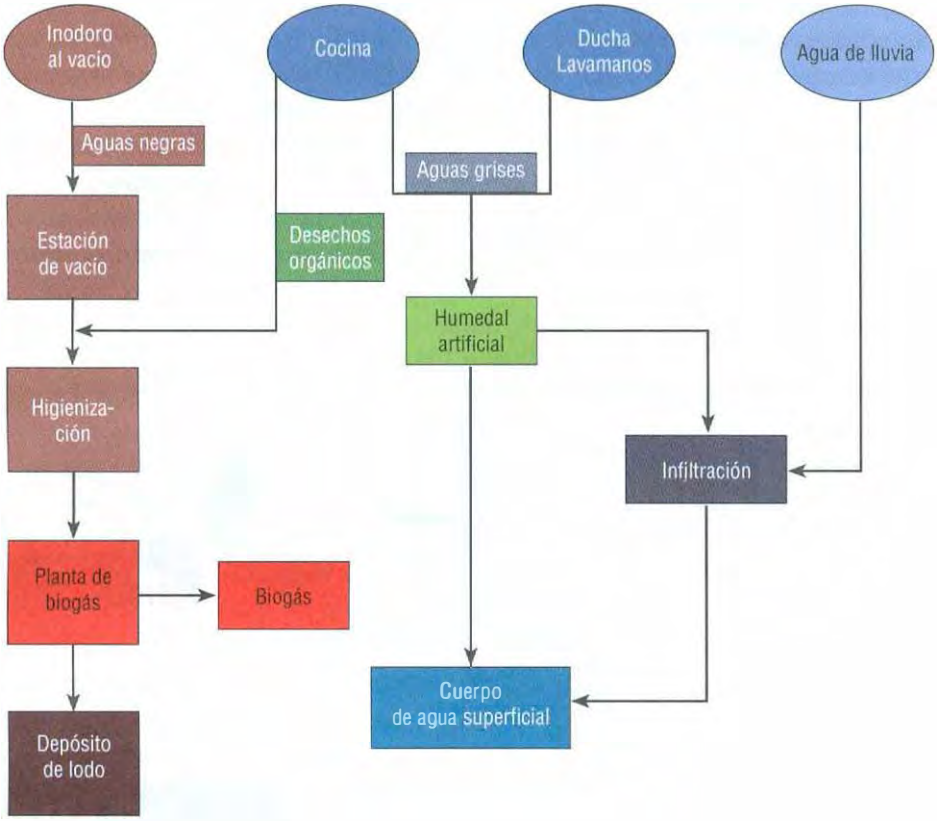
Figura 102
Equipamiento técnico en la casa comunal



Izquierda: pretratamiento para sistema de biogás. Derecha: estación de vacío. Foto: Otterwasser. Luebeck.

Este sistema puede lograr la recuperación de sustancias valiosas en zonas pobladas de hasta 5.000 habitantes.

Figura 103
Esquema del concepto sanitario de la urbanización ecológica Flintenbreite



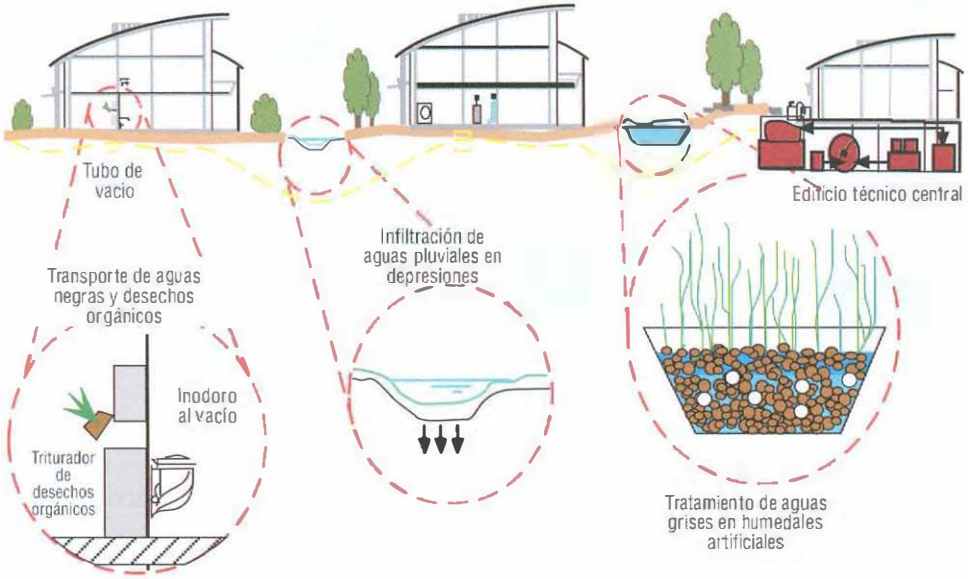
Fuente. Oldenburg & Otterpohl, 2002.

Por la implementación de inodoros al vacío, el agua para un barrido individual se reduce a 0,7 litros y las aguas negras se diluyen mínimamente. Para su transporte se tiene una red de vacío DN 50 - 65 construida en forma de perfil de diente de serrucho. Este sistema no necesita pendiente para su funcionamiento, así que puede ser extendido junto con las redes de agua, calefacción vecinal, electricidad y de comunicación, en un solo canal. El vacío se genera en una estación central de vacío, que está instalada en la casa comunal.

Los desechos sólidos orgánicos se recolectan en turriles separados, se trituran y se mezclan con las aguas negras en la casa comunal. La mezcla de aguas negras y desechos orgánicos se desinfecta por calentamiento y entra a una planta de biogás que trabaja con temperaturas en el rango mesófilo. Luego de la estabilización

de la masa por la fermentación anaeróbica queda un producto líquido rico en nutrientes, que se almacena y es aprovechado por un grupo de campesinos en los alrededores de la urbanización. Existe un convenio entre los habitantes de la urbanización y los campesinos para el mercadeo de sus productos agrícolas en la urbanización. El biogás producido se usa directamente para la generación de calor y energía eléctrica. El calor necesario para la desinfección de la masa fecal y las temperaturas adecuadas para la planta de biogás también se genera por esta planta energética. La planta de biogás cubre 5 - 10% del consumo de energía de las casas, que están construidas con técnicas modernas para bajo consumo energético. Otra parte de la energía necesaria para las viviendas se genera con paneles solares, para la calefacción del agua, y dos hornos, que cubren las necesidades pico de calefacción durante la época fría. La energía eléctrica para la urbanización es generada por una planta energética compacta y paneles solares fotovoltaicos.

Figura 104
Esquema del flujo de aguas y desechos en la urbanización Flintenbreite



Esquema: Otterwasser, Luebeck.

Las aguas grises se purifican en una planta de tratamiento que consiste en un tanque de sedimentación y tres humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical. Las aguas tratadas se infiltran parcialmente en su camino hacia el cuerpo receptor.

Figura 105
Humedal artificial plantado con *Phragmites*

Foto: Otterwasser, Luebeck, septiembre de 2002.

Las aguas pluviales se drenan superficialmente en canales abiertos integrados en las superficies compactadas de caminos y carreteras, y se infiltran en depresiones sobre el propio terreno. Durante eventos extremos de tormenta, parte del agua de lluvia entra directamente al cuerpo receptor.

Resultados

El sistema de vacío funciona sin problemas desde hace 10 años.

El consumo de agua en la urbanización se reduce a 71 litros por persona y día.

Tabla 40
Cantidad y distribución de nutrientes en aguas negras y aguas grises de la urbanización Flintenbreite

	Aguas negras	Aguas grises	Unidad
Volumen total	4,8	56	l/pers. x día
N	8	0,8	g/pers. x día
P	0,8	0,5	g/pers. x día
K	0,7	0,2	g/pers. x día

Datos de marzo de 2001. Las cargas se refieren a 66 habitantes (= 100% en estado actual).
Fuente: Oldenburg & Otterpohl, 2002.

La planta de purificación de aguas grises funciona y permite obtener en el efluente concentraciones debajo de los límites permisibles para plantas de purificación. Sólo el fósforo no se retiene en mayor cantidad. El fósforo se genera

principalmente por las lavadoras de vajilla, que usan pastillas de detergente con fosfatos.

Los costos de inversión para el sistema de aguas fueron un 40% más altos, comparados con los costos de conexión al sistema convencional de alcantarillado, pero la mayor inversión se compensó por los bajos costos de mantenimiento, la reducción del consumo de agua y el ahorro consecuente en los costos elevados de agua potable y agua servida del mercado alemán.

1.1.2. Museo Lambertsmuehle, Burscheid, Alemania

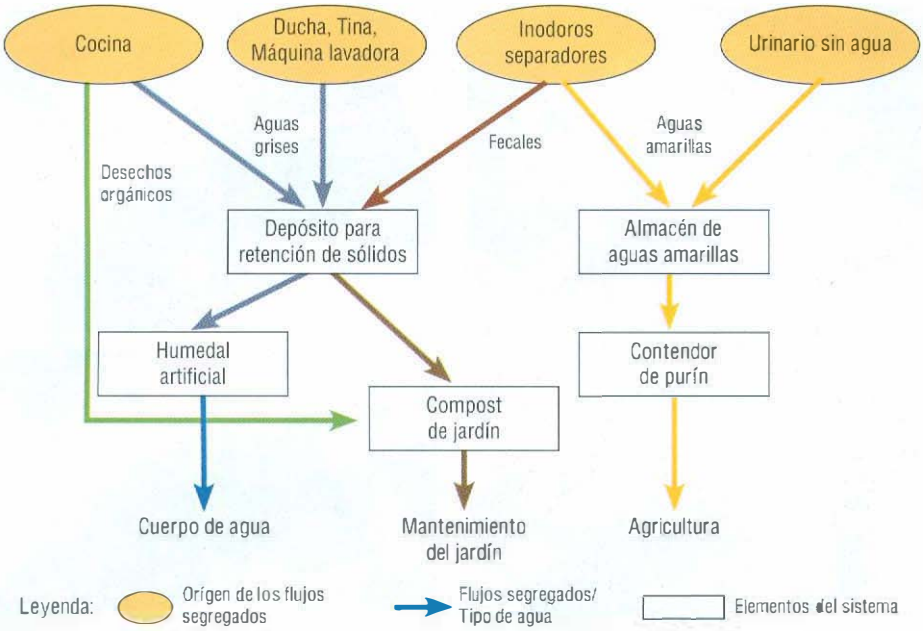
La descripción se basa en las publicaciones de Oldenburg & Otterpohl, 2002; Oldenburg *et al.*, 2004 y <www.lambertsmuehle-burscheid.de>.

Figura 106
Museo Lambertsmuehle

Fuente: <www.lambertsmuehle-burscheid.de>.

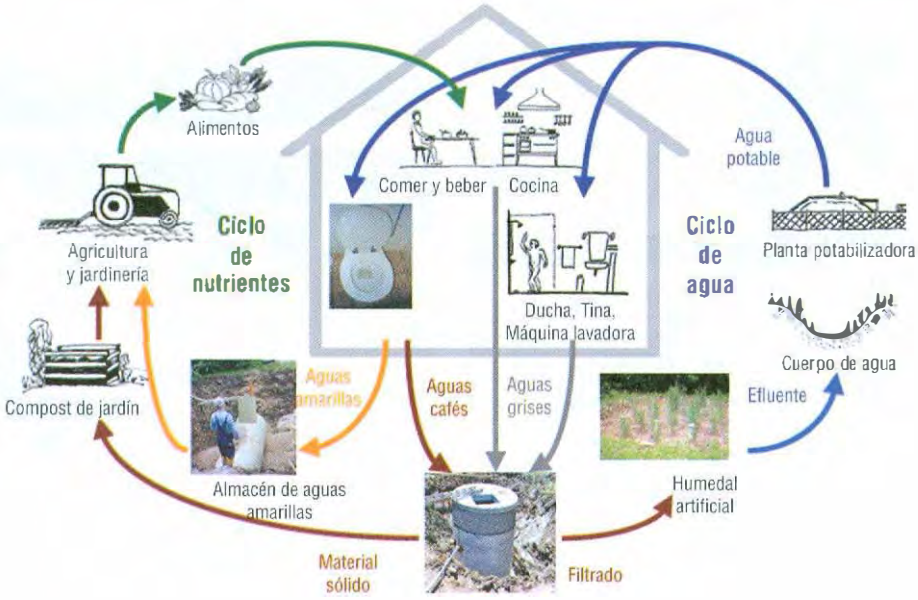
El molino de agua Lambertsmuehle, que data del siglo XVI, ubicado cerca de la ciudad de Colonia, actualmente se usa como vivienda y museo. Durante la restauración de la casa histórica se implementó un sistema sanitario moderno, basándose en inodoros separadores de orina que fueron desarrollados en Suecia. Para limpiar la orina en los inodoros sólo se usan 0,2 litros de agua por barrido. De esta manera, la orina se colecta casi sin adición de agua. En los baños de hombres además se instalaron urinarios secos. Para eliminar las heces el flujo de agua es de 4 a 6 litros por barrido. El agua amarilla (orina) se colecta separadamente en tanques, donde se almacena hasta su transporte a los campos agrícolas para su uso como abono. Las aguas cafés entran a un contenedor provisto de una bolsa filtrante (*Rottebehaelter*) de dos cámaras de uso alterno, donde se separa la masa fecal del agua por simple filtración. Después de varios meses hasta un año, cuando la bolsa está llena, la masa se traslada a un campo de compostaje, donde

Figura 107
Esquema de flujo de los desechos líquidos y sólidos del museo



Esquema: Otterwasser, Luebeck

Figura 108
Esquema de flujo de los desechos líquidos y sólidos del museo



Esquema: Otterwasser. Luebeck.

Figura 109
Elementos del sistema sanitario del museo Lambertsmuehle

a: depósito para la masa fecal; b: saco filtrante para la masa fecal, en el depósito; c: saco filtrante lleno; d: composteras e: tanque de almacenamiento de orina; f: humedal artificial construido; g: humedal para la purificación de las aguas grises, durante su construcción; h: humedal después de la plantación.
Fuente: <www.lambertsmuehle-burscheid.de>.

se descompone en varias composteras junto con los desechos orgánicos de cocina y jardín. El compost maduro se usa para los jardines del museo.

El líquido filtrante del depósito de recolección de las aguas cafés sale con bajos contenidos en nutrientes, porque éstos se concentran en la orina. Por este motivo, el filtrado se purifica junto con las aguas grises, que también pasan por el colector de aguas cafés y se purifican primero mecánicamente por filtración en la misma bolsa. Luego entran al pozo de bombeo y a una planta de purificación con macrófitas de flujo vertical. El agua se usa para el riego del jardín o se infiltra directamente, y el excedente entra a un cuerpo receptor.

Las aguas amarillas se almacenan primero en un almacén del edificio y luego se transportan al campo, donde entran a un contenedor de purín con más capacidad de almacenamiento.

La eficiencia del humedal artificial de purificación de las aguas grises es satisfactoria. En el efluente de la planta de tratamiento siempre se logra mantener los límites permisibles establecidos. La tasa de reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es en promedio 90%, la tasa de reducción de nitrógeno al inicio de la operación del sistema estaba en aproximadamente 70%, actualmente ha logrado un nivel de casi 95%. Se espera que esas tasas de degradación todavía se puedan mejorar. La carga de nutrientes en esta planta piloto se distingue sustancialmente de otros casos porque sólo recibe las aguas grises y los drenajes de las heces bajas en nutrientes, como fósforo y nitrógeno. Es probable que la fase de adaptación de la planta y el desarrollo de la microflora en el filtro de grava gruesa necesite más tiempo hasta lograr la máxima tasa de descomposición de nutrientes. Mediante este proceso se espera un mejoramiento, especialmente en la eliminación del fósforo.

1.1.3. Proyecto Sassnitz, Ruegen, Alemania

La descripción se basa en las publicaciones de Klaus, 2002 y 2004.

El proyecto se realizó por el municipio de Sassnitz y la Fundación WWF (World Wildlife Fund) Alemania. Se trata de la transformación de un campo militar en la isla de Ruegen, en el Mar Báltico, a un centro de visitantes del Parque Nacional Jasmund. El centro de visitantes alberga una exposición permanente y restaurantes. Se esperan anualmente 1 millón de visitantes, y un máximo diario de 4.000 visitantes y 300 comidas. Los cambios estacionales en la cantidad de turistas serán muy grandes.

Objetivos y justificación del concepto ecológico:

- La casa de visitantes del Parque Nacional Jasmund se encuentra en un ecosistema sensible y valioso.
- Las aguas servidas de la casa entran al Mar Báltico, que también es un ecosistema sensible, por su mínimo intercambio de aguas.

- Con el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) está participando una organización ambiental líder en la planificación y operación del establecimiento, por lo que se espera una función ecológica modelo de la casa.
- Se espera una función multiplicadora de la tecnología, por las altas cantidades de visitantes.

El concepto contempla la "emisión cero" de la casa, por varias medidas:

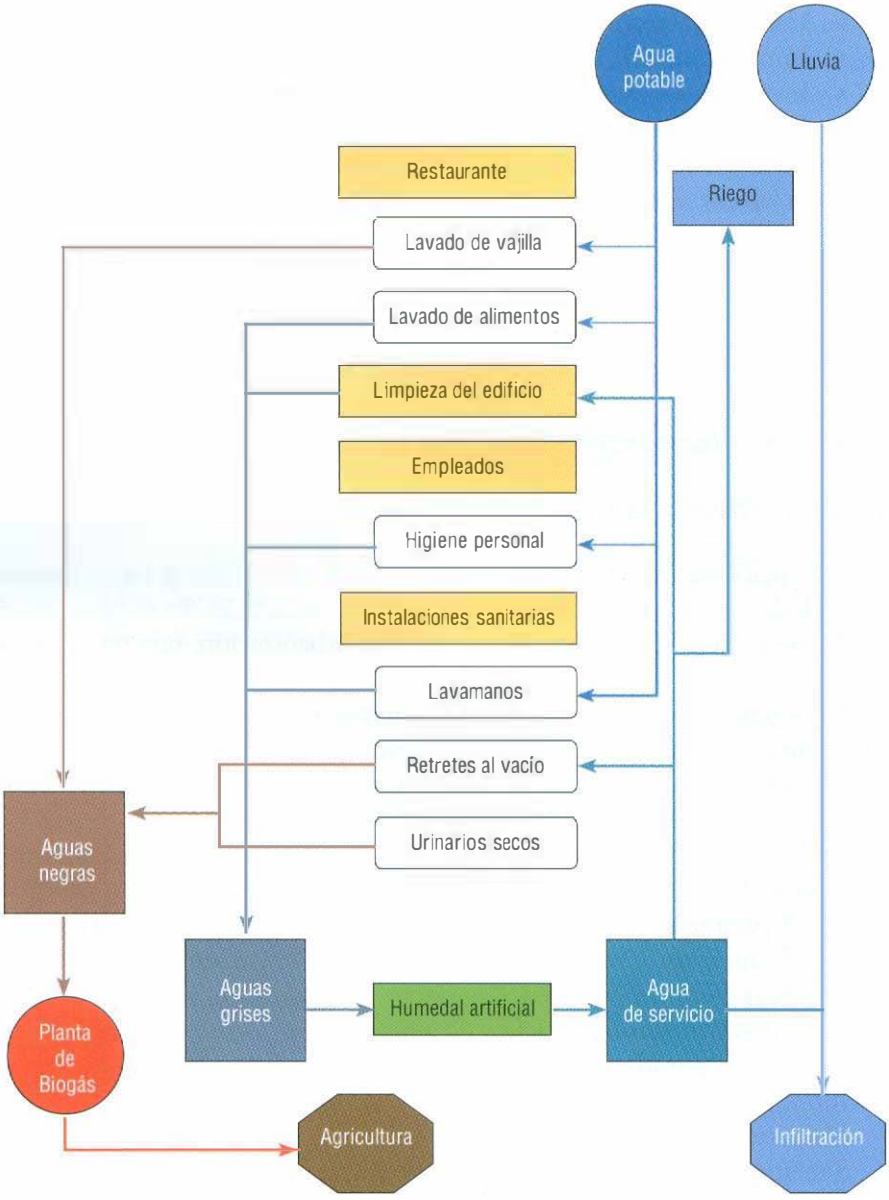
- Minimización de los flujos de aguas servidas.
- Recolección separada de los flujos parciales de aguas servidas.
- Ciclos cerrados de sustancias (agua, nutrientes).
- Uso, reuso y reciclaje de las sustancias (agua, nutrientes) y energía (biogás).
- Minimización de emisiones a los ecosistemas terrestres y acuáticos adyacentes.
- Aproximación de las condiciones del manejo de agua a los balances naturales de la zona.

El suministro de agua se realiza desde una vertiente local, por una planta pequeña de potabilización. Debido al rendimiento reducido de la vertiente y por causas ecológicas, se tiene que minimizar el uso de esta agua.

Las aguas grises poco contaminadas se purifican en un humedal artificial y se reusan en los inodoros, en el riego y eventualmente en la refrigeración del edificio. El uso del agua potable se minimiza por la implementación de sensores infrarrojos en los grifos de los lavamanos y reguladores de flujo a 2,5 litros por minuto. Los limitadores convencionales de flujo permiten una reducción del flujo máximo a sólo 6 litros por minuto. Las aguas grises purificadas excedentes y las aguas pluviales se infiltran y evaporan en un humedal natural adyacente. El escurrimiento de las aguas pluviales entra primero a una laguna con nivel de agua variable, para su desagüe retardado.

Las aguas negras de los inodoros, urinarios y del lavado de vajilla se transportan con muy poca agua por un sistema de vacío a una planta de biogás a 40 km de distancia, donde se usan el gas y los lodos restantes en la agricultura. La ganancia en energía excede la requerida para la generación del vacío y el transporte de las aguas negras.

Figura 110
Esquema del concepto de agua



Basado en Klaus. 2002.

Resultados de operación del sistema en comparación con un sistema convencional:

- Reducción del consumo de agua potable en un 80% mediante:
  - Uso de artefactos de bajo consumo (5%).
  - Implementación de urinarios sin agua (12%).
  - Implementación de inodoros al vacío (43%).
  - Reciclaje de aguas grises (21%).
- Evitar entradas de contaminantes al Mar Báltico.
- Reciclaje de 750 kg de nitrógeno y 150 kg de fósforo anualmente en la agricultura
- Producción de 1.900 m^3 de biogás anualmente.

Por las condiciones especiales de ubicación del proyecto, por ejemplo el suelo rocoso, se ahorra aproximadamente 25% en la construcción y operación del sistema de infraestructura de agua.

1.1.4. Urbanizaciones ecológicas en Hannover, Alemania

Parque ecotécnico Hannover

La descripción se basa en las publicaciones de Hesse, 2002 y <www.oeko-technik-park.de>.

A este parque ecotécnico pertenecen una urbanización, una finca y una iglesia.

El objetivo del parque es la experimentación y evaluación de técnicas de ahorro de agua, protección del clima, sistemas de reciclaje de nutrientes, y cierre de los ciclos de agua y nutrientes. Para cada campo se usan diferentes tecnologías a modo de comprobar los beneficios y desventajas de cada una.

El desarrollo de esta exposición técnica comenzó en 1995, con la instalación de sistemas de reciclaje de aguas grises en 48 viviendas.

En el parque se implementaron distintos sistemas técnicos para ahorro y reciclaje de agua, uso e infiltración de aguas pluviales (según Hesse, 2002; <www.oeko-technik-park.de>):

- Distintos sistemas de reciclaje de aguas grises.
- Inodoros separadores.
- Inodoros al vacío.
- Urinarios sin agua.
- Sistemas de uso de aguas pluviales de diferente tipo.
- Depresiones para la infiltración de aguas pluviales.
- Varios sistemas de energías renovables.
- Un sistema de evaporación de aguas servidas por un bosquecillo de sauces, con 100% de reciclaje de nutrientes. La leña producida por el bosque se usa en el horno de pan de la finca.
- Un sistema de control de costos de energía y agua.

Todas las instalaciones del Parque Ecotécnico pueden ser visitadas, también se ofrecen *tours* guiados (<www.oeko-technik-park.de>).

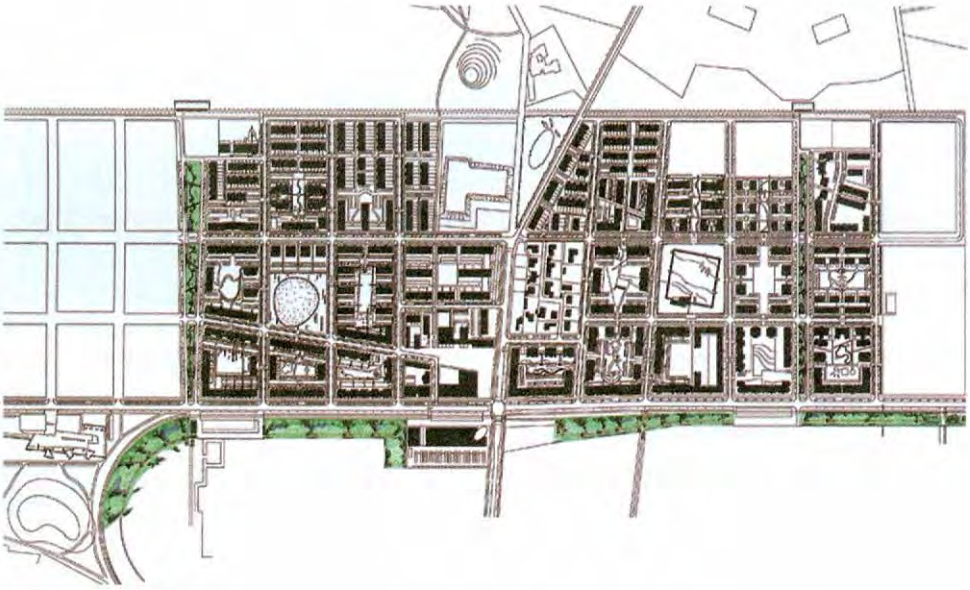
Urbanización Kronsberg

La descripción se basa en la publicación de la municipalidad de Hannover (Stadtentwaesserung Hannover, [s/f]) y un estudio de Uhl, 2003.

La ciudad de Hannover ha desarrollado una nueva urbanización como parte de la exposición mundial 2000, la urbanización Kronsberg, con 3.000 viviendas en una superficie de 100 ha aproximadamente, en la pendiente de una colina en las zonas periurbanas de la ciudad, de manera que la urbanización construida tiene inclinaciones de 4 a 6%. Para mantener la situación actual en el balance de aguas y no sobrecargar las lagunas de retención de aguas pluviales ya existentes en la zona, se reglamentó el escurrimiento máximo de la nueva urbanización en 3 litros/s x ha.

Se trata de un proyecto de urbanización a gran escala, que toma en cuenta al mismo tiempo los requerimientos ecológicos, culturales, sociales y de planificación urbana, y debería ser transferible a otras zonas residenciales. La base para el concepto de agua en la urbanización es el desagüe seguro con previsiones contra aguas altas, en la planificación urbana y paisajística.

Figura 111
Mapa de la urbanización Kronsberg



Se observan los ejes verdes de las carreteras principales, verticales a la pendiente de la colina, los patios con diversos diseños de retención de aguas, las zonas de retención e infiltración al pie de la colina, y la laguna de retención, al lado izquierdo inferior, que recibe los excedentes de las aguas de escurrimiento.
Mapa: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

El sistema de Kronsberg garantiza que el balance de aguas en la zona se mantiene equilibrado, la tasa de renovación de las napas freáticas y el caudal en el sistema de riachuelos se mantienen. Por otro lado, el sistema de desagüe superficial de las aguas pluviales crea un elemento de diseño importante en el concepto urbano general, mejora el microclima urbano, equilibra las temperaturas y crea zonas de recreación para los pobladores.

Figura 112
Balance de aguas de Kronsberg

a: situación natural, antes de la urbanización (1994): b: situación simulada después de la urbanización aplicando el sistema convencional; c: situación después de la urbanización, con el sistema de manejo descentralizado aplicado.
Fuente: Stadtentwaesserung Hannover [s/f].

La ciudad de Hannover pretende lograr la reducción del consumo de agua potable por persona y día a 100 litros, en promedio. Actualmente, se consumen 142 litros por persona. En la urbanización Kronsberg se han implementado varias medidas para el ahorro de agua potable. En primer lugar, las viviendas se equiparon con artefactos de bajo consumo de agua. Además, en el colegio de la urbanización se realizaron medidas adicionales. Las aguas pluviales se recolectan y se reciclan en el riego de los jardines y en los inodoros. Por otro lado, los elementos de recolección e infiltración de las aguas se integraron en las áreas verdes del colegio, y el techo tiene una capa de vegetación para la retención y escurrimiento retardado de las aguas pluviales. El tema "agua" es parte importante en la educación de los niños.

Los propietarios tenían que cumplir medidas de minimización de escurrimiento de las aguas pluviales en base a los reglamentos de protección de la naturaleza, es decir, tenían que poner un revestimiento permeable para agua (generalmente adoquín) en los parqueos y sus vías de entrada, introducir la naturación de las superficies de los garajes y techos hasta una inclinación de 20 grados en ciertas partes de la urbanización, y renunciar al uso de PVC para los tubos de alcantarillado, por su potencial tóxico. Actualmente existen 29% de techos naturados y 71% de techos sin vegetación.

El concepto de manejo de las aguas pluviales cuenta con los siguientes componentes:

Infiltración y retención descentralizada

- En todos los terrenos privados y terrenos públicos.
- En las superficies de tráfico vehicular, menos el eje central de tráfico.

Sistemas aplicados: sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*), depósitos superficiales y subterráneos, válvulas de descarga retardada para máximo 3 l/s x ha A_{red} (A_{red} = superficie sellada).

Desagüe

- De las descargas retardadas, y los rebalses de terrenos y calles hacia las superficies de retención.
- De los escurrimientos de la carretera principal, con mayor contaminación.

Sistemas aplicados: red reducida de alcantarillado de aguas pluviales para rebalses de exceso, red convencional de aguas pluviales para la descarga contaminada de la carretera principal.

Retención centralizada

- De las descargas retardadas, y los rebalses de terrenos y calles.

Sistemas aplicados: superficies de retención al pie de la colina para la retención y la purificación de las aguas, laguna de retención, riachuelo renaturado.

Tratamiento de las aguas pluviales

- En forma descentralizada, pasando por el suelo antes de su infiltración en los sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*).
- De forma centralizada en zonas de sedimentación y filtración en la superficie de retención plantada con macrófitas y la laguna de retención de las aguas pluviales.

Sistemas aplicados: superficies de retención al pie de la colina para la retención y la purificación de las aguas por la vegetación semiacuática, laguna de retención.

Se desarrollaron soluciones modelo para las carreteras en dos formas.

1. Sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*) de 2 m de ancho.
2. Eje verde central en las carreteras, con zonas de retención en forma de cascadas, entrada de aguas colectadas en las dos partes de las carreteras y de los rebalses de los terrenos privados.

Figura 113
Sistemas de infiltración y desagüe retardado

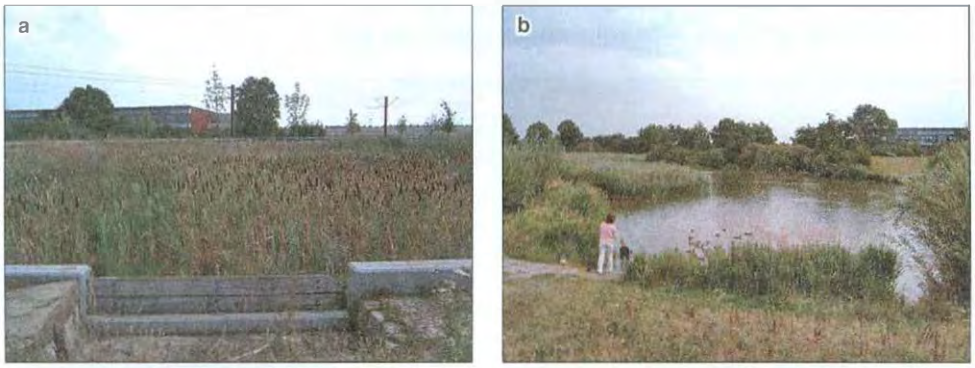
a: sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*) en carretera durante sequía. Se observan las separaciones entre los elementos del sistema y el rebalse de agua. Foto: Margot Franken; b: eje verde de carretera principal durante sequía. Se observa una válvula reguladora en el muro de separación entre los elementos de retención. Foto: Margot Franken, c: eje verde de carretera principal, con zonas de retención e infiltración de aguas. Foto: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen

En los terrenos privados, se desarrollaron varios diseños para las áreas verdes centrales de los manzanos construidos.

Figura 114
Elementos del manejo de agua en los patios, en agosto 2003, durante sequía

a: laguna en el patio 1; b: canal abierto en el patio 4; c: laguna en el patio 2; d: canaleta abierta en el patio 1
Fotos: Margot Franken.

Figura 115
Superficies semicentralizadas de retención e infiltración al pie de la colina y laguna final de retención



a: superficie de retención e infiltración debajo de la urbanización; b: laguna Anecamp. Fotos: Margot Franken.

Analizando los costos del sistema descentralizado, se podía demostrar que para la comuna significa un ahorro de 17%, mientras que para el propietario el desagüe convencional hubiera sido menos costoso. La ventaja económica para el municipio se explica por las leyes alemanas de medio ambiente, que norman la necesidad de implementar terrenos de sustitución para el sellado de los terrenos edificados. Desde el punto de vista de la sociedad, se debe tomar en cuenta no sólo los costos directos, sino también los aspectos ecológicos y sociales, como el mejoramiento de la calidad de vida. En este sentido, la solución descentralizada tiene sus ventajas.

1.1.5. Urbanización ecológica Gaertnerhof, Viena, Austria

La descripción de la urbanización y sus conceptos se basa en Deubner & Schuller, 1992a, b, c.

Gaertnerhof, cerca de la ciudad de Viena, es la urbanización ecológica más antigua de Austria. Se planificó y se construyó entre 1982 y 1988, incluye 21 viviendas para 80 a 100 personas, una casa social, áreas verdes y lúdicas, una laguna de recreación y natación, huertas y un humedal artificial para el tratamiento de las aguas servidas.

Concepto arquitectónico: economizar la superficie de edificación. Garantizar la privacidad por el ordenamiento de las edificaciones y la integración de muros.

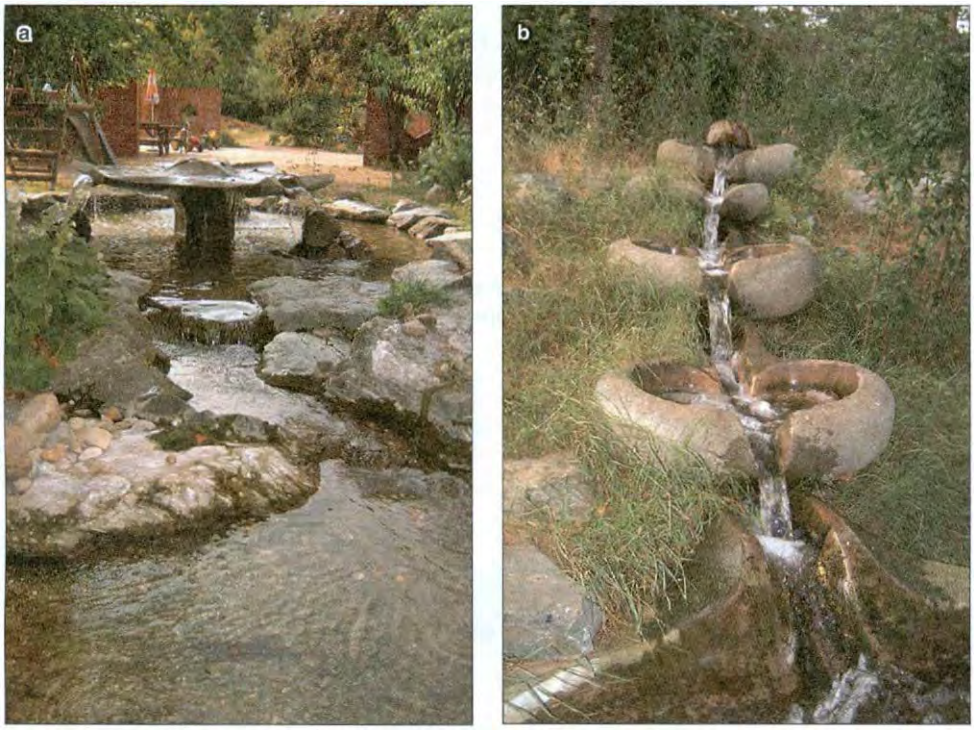
Concepto ecológico: uso de materiales naturales y poco procesados, libres de contaminantes y reciclables. Lograr autonomía parcial por tecnologías suaves, independientes de la coyuntura, producción local parcial de alimentos y productos artesanales, implementación de ciclos cerrados descentralizados. Uso de energía solar, en forma pasiva y activa. Uso de materiales aislantes. Calefacción a gas que

genera poca contaminación. Intercambiadores de calor. Uso de aguas pluviales para lavadoras, inodoros y riego. Parcialmente uso de inodoros ecológicos de compostaje. Tratamiento de las aguas servidas en un humedal artificial. Bomba de viento para el intercambio de las aguas tratadas en la laguna de recolección. Planta de biogás. Recolección y separación de todos los desechos sólidos. Implementación de huertas para el autoconsumo.

Concepto social: implementación de estructuras que fortifican el estado mental, psíquico y físico, desarrollo de ayuda mutua, comunicación y educación, así como la vida conjunta con niños y ancianos. Mezcla de los habitantes referente a su edad, su profesión y su origen social. Oferta de formas y tamaños distintos de las viviendas. Implementación de áreas de uso común.

Construcción ecológica significa más que el uso de materiales "biológicos", más bien significa también una "calidad nueva del pensamiento", que toma en cuenta los aspectos de interconexiones múltiples de la naturaleza, y trata de usar los recursos naturales de forma sensible y sustentable.

Figura 116
Elementos estéticos creados con el uso de las aguas pluviales



a: fuente en el patio común de la urbanización (agua pluvial); b: cascada Virbela hacia la laguna de natación (agua pluvial). Fotos: Margot Franken.

Concepto de manejo de agua

Los conceptos básicos son:

- Optimizar el consumo a través de medidas de ahorro de agua.
- Minimizar la contaminación del agua.
- Maximizar los ciclos locales del agua con medidas de suministro y purificación descentralizadas, cerrar los ciclos.
- Integrar al agua como elemento estético y de recreación.

El suministro de agua en la urbanización es por agua potable de la red comunal, agua de pozo y agua pluvial.

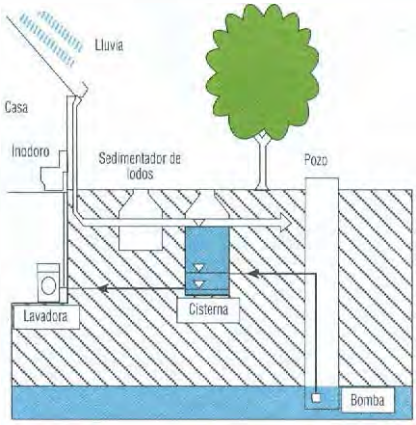
Ahorro de agua

- Uso de artefactos de bajo consumo de agua.
- Uso de aguas pluviales para inodoros, lavadoras y riego, en algunos casos también para la higiene corporal.
- Las medidas aplicadas minimizaron el consumo promedio de agua potable por persona a 52 litros por día. En algunas casas donde el agua pluvial también se usa en la higiene personal, el consumo de agua potable se redujo a 5 litros por persona y día.

Uso de agua pluvial (figura 117)

Cada casa está provista con una cisterna subterránea de 2,5 a 3 m^3, con un sedimentador de lodos. Estas cisternas son conectadas con su rebalse a una gran cisterna común, de 86 m^3. El agua pasa por filtros a la red de suministro de las viviendas. En zonas de agua dura, el uso de las aguas pluviales ahorra detergentes y protege los equipos. Como la distribución heterogénea de las precipitaciones no permite un suministro continuo, se introduce, en caso necesario, agua de pozo a las cisternas.

Figura 117
Esquema de suministro de agua de pozo y aguas pluviales



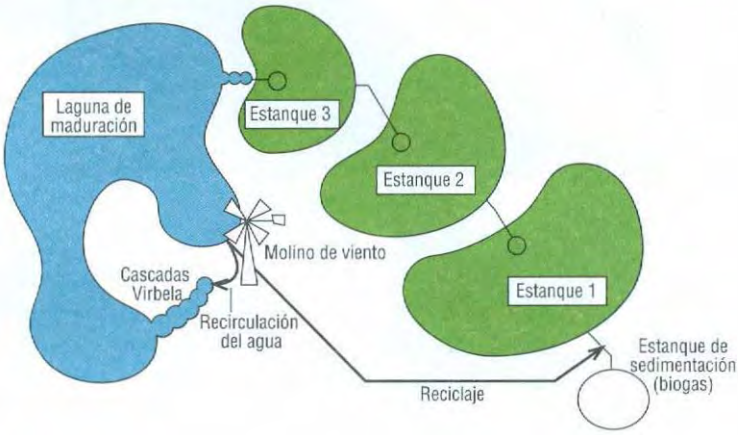
Dibujo basado en Deubner & Schuller. 1992 a.

Tratamiento de aguas servidas en humedales artificiales (figura 118)

- Sedimentador de lodos, tipo *Emscherbrunnen*, con producción de biogás.
- Tres estanques en forma de riñón de flujo subsuperficial horizontal.
- Una laguna de almacenamiento de aguas, por falta de un cuerpo receptor.

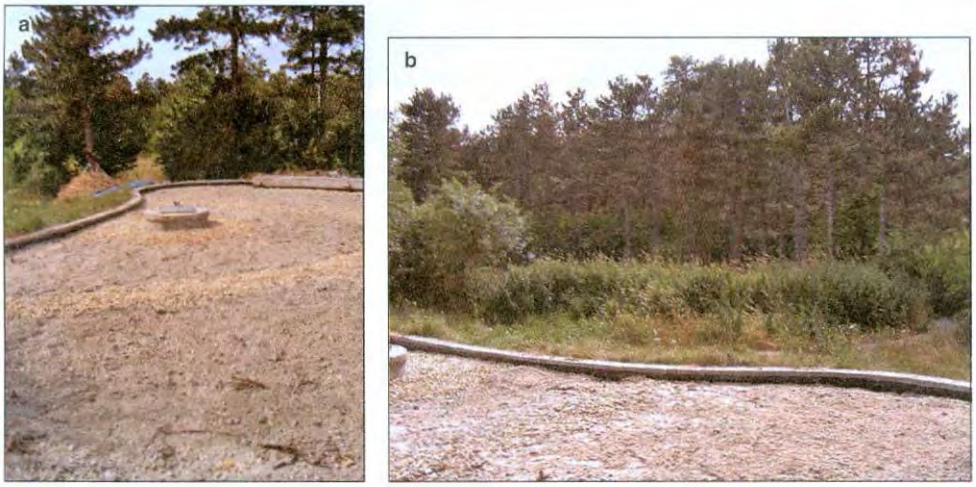
Se usaron estanques en forma de riñón, por las ventajas hidráulicas en comparación con estanques rectangulares y su integración óptima al paisaje.

Figura 118
Esquema de la planta de purificación de aguas servidas mediante macrófitas



Dibujo basado en Deubner & Schuller, 1992a.

Figura 119
Planta de purificación de aguas servidas



a: estanque 2 en renovación. Se observan las capas de sustrato de diferente granulometría; b: estanque 3 en funcionamiento, con *Phragmites australis*. Fotos: Margot Franken.

Figura 120
Planta de purificación de aguas servidas en otoño después de la cosecha de las macrófitas

Foto: Herbert Dreiseitl, Ueberlingen.

Los análisis físico-químicos mostraron la efectividad del sistema. Las concentraciones finales están muy por debajo de las normas austriacas establecidas.

El material orgánico depositado en el sedimentador se mezcla con el producto de la poda de las macrófitas y se descompone al lado de la planta de tratamiento.

Uso de inodoros de compostaje:
Se usa un modelo alemán del tipo Clivus-Multrum, que tiene un depósito grande e inclinado. Las experiencias de los usuarios son generalmente positivas. Problemas con olores ocurrieron en pocos casos debido a errores en la instalación del tubo de aireación y por la falta de introducción de material estructurado. El material en el depósito debería ser removido aproximadamente dos veces al año, lo que demora entre media y una hora de trabajo. El sistema se describe como sistema confortable en el uso y sin problemas higiénicos. Se recomienda este tipo de inodoros para uso generalizado.

1.1.6. Universidad de Vancouver, Canadá

La descripción se basa en el libro de Del Porto y Steinfeld, 2000; Grant *et al.*, 2002 y varias fuentes de internet.

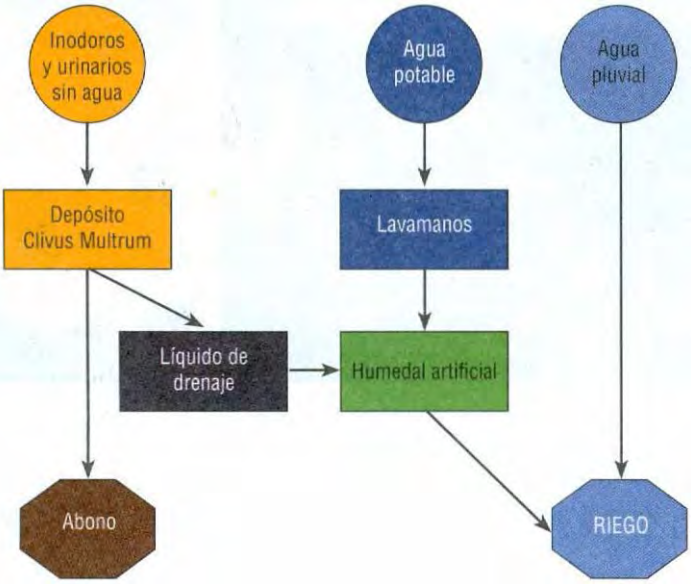
El Instituto de Investigaciones Asiáticas de la Universidad de British Columbia, un edificio de tres pisos para 300 empleados, ha sido equipado con sanitarios de compostaje y urinarios sin agua, además de un sistema de recolección de aguas de lluvia. No está conectado a la red de alcantarillado. El edificio también incluye materiales reciclados, paneles fotovoltaicos, y sistemas de iluminación y ventilación naturales.

La arquitecta Eva Matzuzaki sostiene: "Queríamos mostrar que esto puede realizarse en un ambiente urbano".

El edificio tiene una superficie de uso de 27.870 m² y se usan diariamente 500 litros de agua potable. Un edificio convencional del mismo tamaño y con el mismo uso utilizaría más de 7.000 litros diarios (650 litros para el riego de las áreas verdes, 500 litros para el lavado de manos, y 6.500 litros para el barrido de los inodoros).

En cada piso se instalaron tres sanitarios secos que están conectados a cinco depósitos de compostaje del tipo Clivus Multrum, ubicados en el sótano del edificio. Las aguas pluviales son colectadas en los techos y almacenadas en un tanque de 26.497 m³ de volumen, debajo de las escaleras. El agua pluvial se usa en el riego de las áreas verdes. Las aguas grises originadas en los lavamanos se filtran y se bombean a un humedal artificial plantado con lirios. El efluente también se usa en el riego de plantas. Un análisis bacteriológico de las aguas tratadas muestra que contienen menos de 10 coliformes fecales por 100 ml. En aguas aptas para la natación se permiten todavía 200 coliformes fecales por 100 ml.

Figura 121
Sistema de manejo de agua en el Instituto de Investigaciones Asiáticas

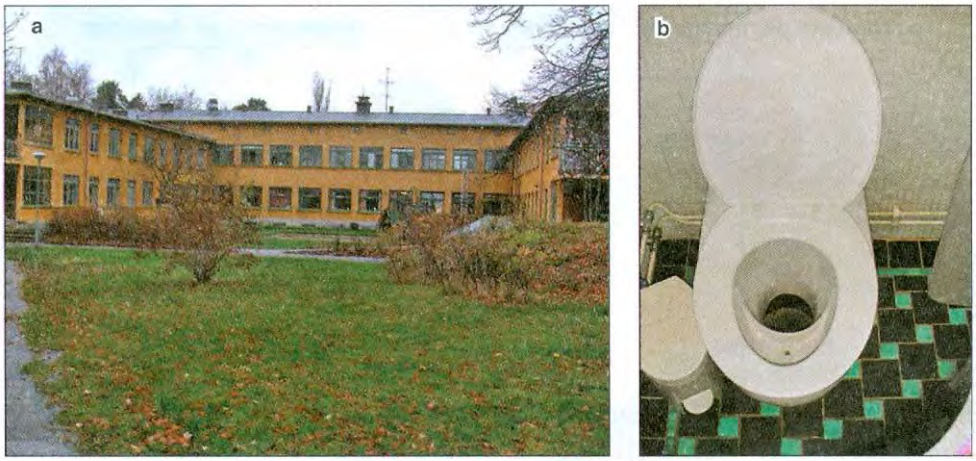


1.1.7. Urbanización Gebers, Suecia

La descripción se basa en la publicación de Palmquist & Joensson, 2004; <www.urbanwater.org>; y comunicaciones personales de Peter-Froehlich y Werner, 2003.

Se trata de un edificio amplio de dos pisos con 32 departamentos para aproximadamente 80 habitantes, ubicado a unos 15 km del centro de la ciudad de Estocolmo. El grupo de vecinos decidió implementar un sistema de retretes ecológicos secos en el edificio sin sótano ya existente, durante el saneamiento de la construcción entre 1996 y 1998. Para este fin, el edificio se aprovisionó con un sótano poco profundo para la instalación de barriles de basura sobre ruedas que tienen la función de recibir las heces de los inodoros separadores secos. Los barriles se revisten con una bolsa plástica y se vacían cada dos semanas a un lugar de compostaje externo a 100 m de distancia de la casa. La orina se colecta en tres tanques para su utilización como abono líquido. Las aguas grises todavía entran a la red de alcantarillado municipal. Este ejemplo muestra que con las ideas adecuadas se puede adaptar también construcciones existentes para la implementación de soluciones innovadoras (<www.urbanwater.org>; Peter-Froehlich y Werner, com. pers., 2003).

Figura 122
Proyecto Vivienda Gebers



a: edificio; b: inodoro separador seco. Fuente: Peter-Froehlich, 2003.

El proyecto Gebers es uno de los mejor estudiados. Se investigó los contenidos de nutrientes, de sales y metales en los flujos parciales de aguas servidas (tabla 41).

Tabla 41
Parámetros medidos en los flujos parciales de la urbanización Gebers

Parámetro	Cantidad por persona y año	Concentración o relación			
		Orina	Heces + Papel hig.	Aguas grises	Desechos sólidos
Flujo	kg	646	81	40.150	67
Sólidos totales	kg	7.0	18.6	14.6	16.5
DQQ	g	3.720	1.668	17.500	2.931
DBO7	g	1.829	1.223	7.700	1.051
N total	g	3.830	710	510	324
P total	g	250	250	220	57
K	g	820	280	350	182
S	g	230	78	584	33
Relación NPKS		**15:1:3:1**	**3:1:1:0.3**	**2:1:2:3**	**6:1:3:0.6**

Fuente: Palmquist & Joensson, 2004.

Las relaciones entre los elementos nitrógeno, fósforo, potasio y sulfuro en orina, heces y desechos sólidos corresponden bien con las necesidades de plantas cultivables, así que, excluyendo a las aguas grises, los flujos parciales colectados son aptos para su uso como fertilizantes agrícolas. Las relaciones entre 12 elementos no esenciales y los contenidos de nutrientes fueron más bajas en la orina comparada con las otras fracciones. Para lograr un balance de masa equilibrado en los terrenos agrícolas, el fertilizante no debería contener cargas más altas que los alimentos. Desde este punto de vista las fracciones de orina y heces son aptas para su uso como abono porque se derivan directamente de la digestión de los alimentos. Por otro lado, lodos de plantas de purificación, aguas grises y desechos orgánicos sólidos tienen que ser cuestionados en una perspectiva a largo plazo, por sus tasas mayores de elementos riesgosos en relación a su contenido de nutrientes (Palmquist & Joensson, 2004).

Durante el estudio no todos los flujos de sustancias pudieron ser cuantificados totalmente, lo que muestra la dificultad de seguir las fuentes difusas también en un sistema tan pequeño y bien definido como esta urbanización. Eso incluso muestra la dificultad de mantener fracciones no contaminadas en nuestra sociedad química (Palmquist & Joensson, 2004).

1.1.8. Proyecto Piloto Sanitario Stahnsdorf, Berlín, Alemania

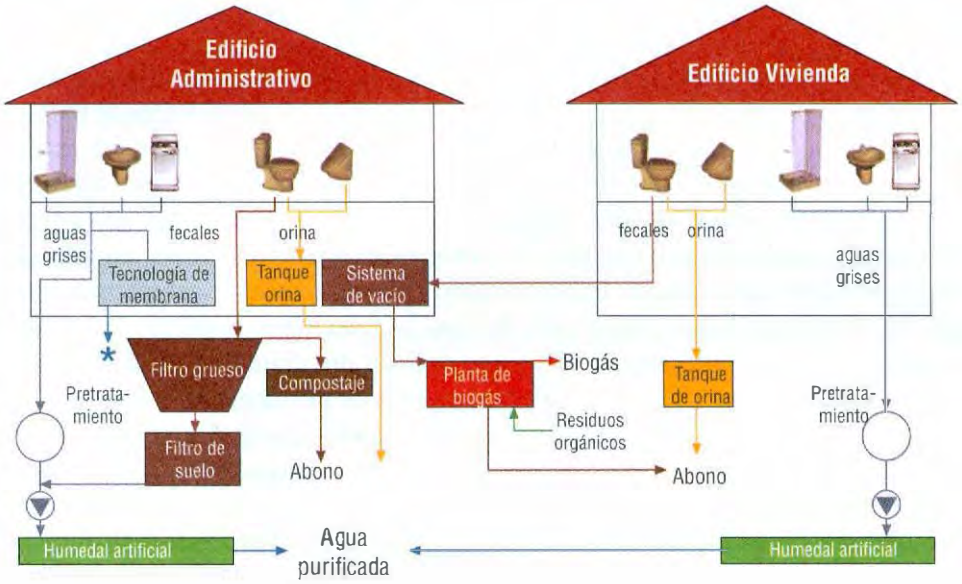
La descripción se basa en las publicaciones de la empresa de aguas Berliner Wasserbetriebe, 2002; Peter-Froehlich, 2003; Peter-Froehlich *et al.*, 2003.

Este proyecto ha pasado la fase I de revisión y evaluación de la factibilidad de implementar un tratamiento separado y local de orina, heces y aguas grises en un edificio administrativo de la empresa de aguas potables y aguas servidas

de Berlín (Berliner Wasserbetriebe) y está actualmente en la fase II de implementación e investigación del sistema.

Se implementaron inodoros separadores de orina y heces, al vacío, probablemente los primeros de este tipo a escala mundial. La orina se almacena en un tanque y se usa como abono. Las heces se llevan a un filtro grueso donde se separa el agua usada en los inodoros y se almacena la masa fecal en un ambiente aeróbico. El agua de drenaje es conducida por un filtro de suelo a un humedal artificial, donde se mezcla con las aguas grises pretratadas del edificio. El agua purificada por los humedales se introduce a un cuerpo receptor. La masa fecal restante se descompone aeróbicamente y se usa finalmente como abono (Berliner Wasserbetriebe, 2002; Peter-Froehlich *et al.*, 2003).

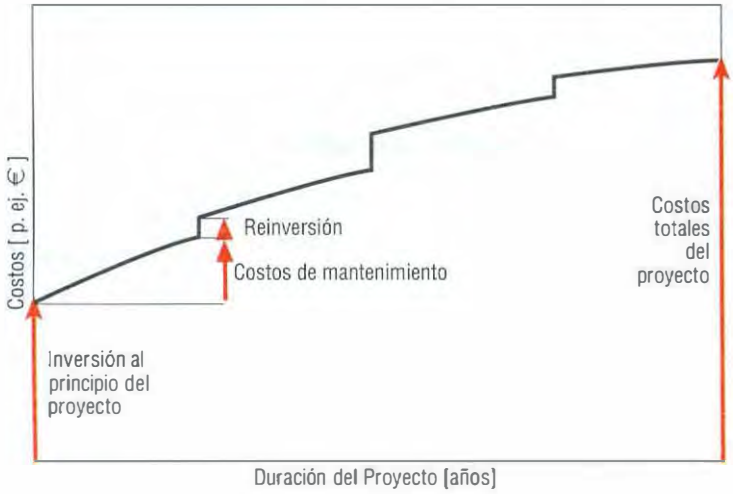
Figura 123
Esquema del sistema ECOSAN en el edificio de la Empresa de Aguas de Berlín



* Efluente de las aguas grises purificadas.
Fuente: Peter-Froehlich, 2003.

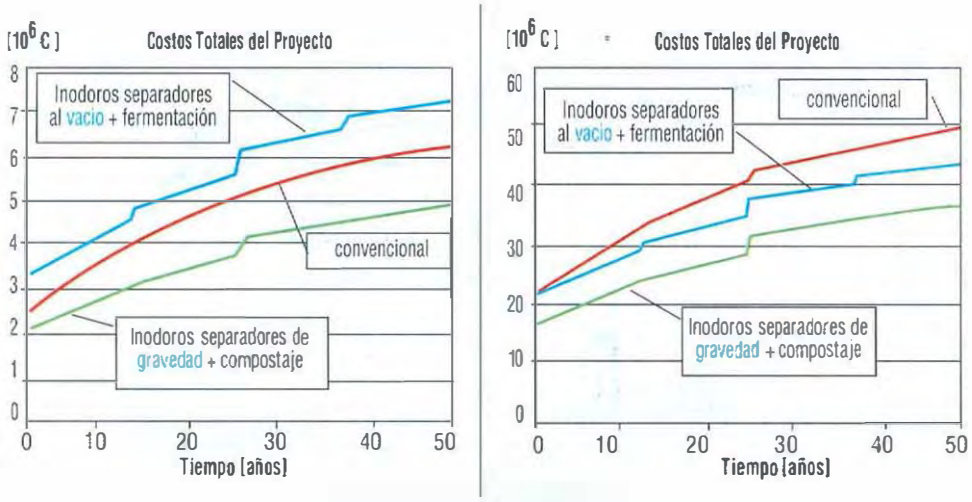
En Berlín, mediante un cálculo realizado para el Proyecto Piloto Stahnsdorf, se ha comprobado que en esta situación los costos totales de los sistemas nuevos se amortiguan y superan al sistema convencional después de pocos años, dependiendo de la cantidad de habitantes conectados (Peter-Froehlich *et al.*, 2003).

Figura 124
Estimación de la evolución de los costos de un sistema sanitario en el tiempo



Fuente: Peter-Froehlich, 2003.

Figura 125
Comparación de costos entre tipos de inodoros y escenarios



a: escenario uno para una población de 672 habitantes; b: escenario dos para una población de 5.000 habitantes. Comparación de costos de implementación, operación y mantenimiento entre distintas soluciones de inodoros (en base a las tarifas de la Empresa de Aguas de Berlín) y dos escenarios con diferente tamaño de población.
Fuente: Peter-Froehlich, 2003.

Los inodoros separadores de gravedad son los más económicos en implementación y mantenimiento, en los dos escenarios, con diferente cantidad de habitantes. Los inodoros separadores al vacío, en el primer escenario son los más caros, sólo cuando sube la cantidad de usuarios sus costos descienden por debajo de la solución convencional, principalmente por la poca cantidad de consumo de agua.

1.1.9. El Prisma, Nuremberg, Alemania

La descripción se basa en el libro de Dreiseitl *et al.*, 2001.

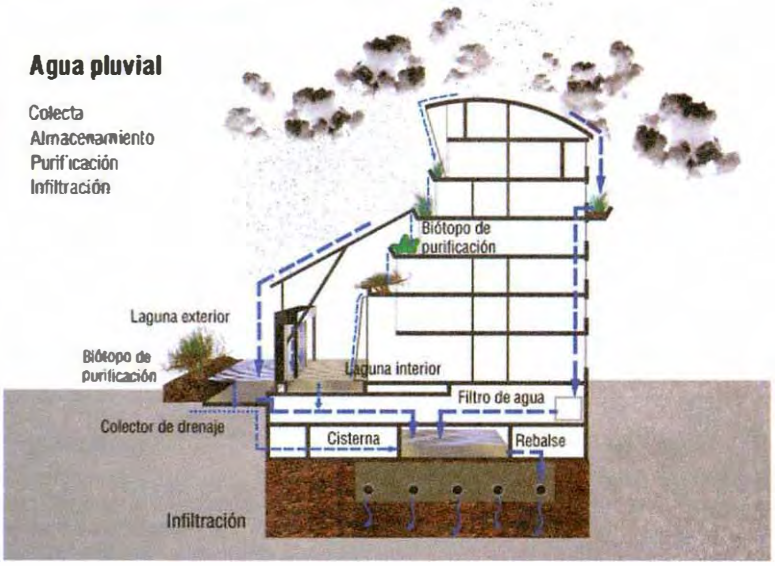
El edificio El Prisma alberga tiendas, oficinas, viviendas y un kindergarten en una superficie de 6.000 m², incluyendo dos edificios de seis pisos, conectados entre sí, y un patio de 2.000 m² ubicado encima del garaje subterráneo de dos pisos.

Para el edificio se desarrolló un concepto ecológico integral, con énfasis en el ciclo del agua pluvial. Todo el terreno está sellado por las construcciones, pero ninguna gota de agua de lluvia entra a la red de alcantarillado.

Objetivos del manejo de agua

- Escurrimiento cero del terreno, por sobrecarga en la red de alcantarillado existente.
- Visibilidad de los elementos funcionales del manejo de agua pluvial y su integración a la concepción arquitectónica-estética.
- Creación de un proyecto modelo.

Figura 126
Elementos del manejo de agua en el edificio El Prisma

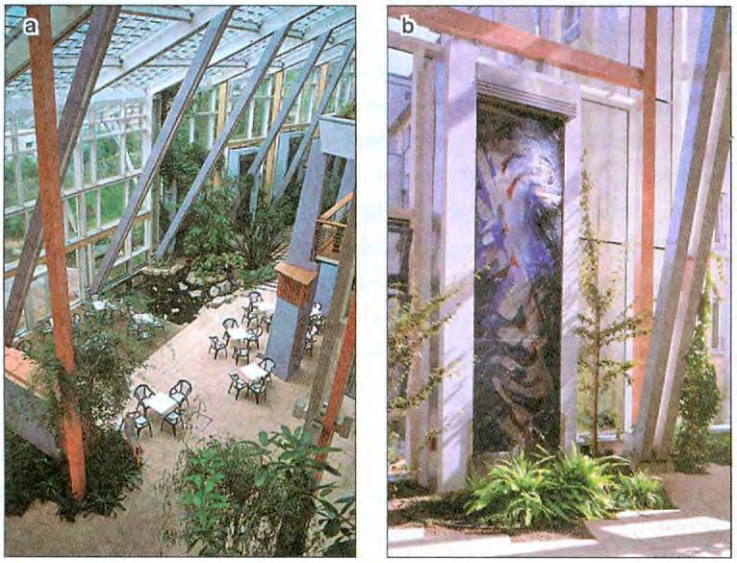


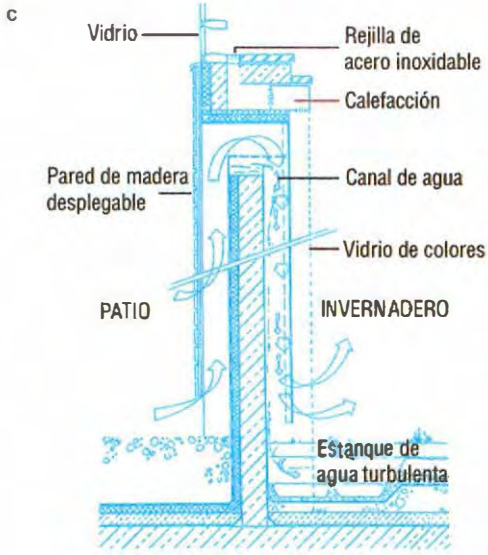
Esquema: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

Elementos del manejo de agua:

1. Reducción del escurrimiento e infiltración
   El agua pluvial se recolecta en los techos en una superficie total de 4.000 m^2. El agua de los techos altos de los edificios pasa por macetas colgantes ubicadas en las paredes de los edificios con una superficie total de 1.000 m^2, donde se filtra, se usa por las plantas y se evapora en gran parte. Luego pasa por canales abiertos en dos grandes invernaderos integrados a las cisternas subterráneas. El agua en exceso se lleva a una zanja de grava (*Rigole*) de infiltración, debajo del garaje subterráneo, e infiltra lentamente hacia las aguas subterráneas. Las aguas recolectadas en los techos de vidrio de los invernaderos integrados se guían hacia una laguna de retención en el área verde encima del garaje. También el sustrato de 2 m de espesor encima del garaje funciona como espacio de retención.
2. Almacenamiento y uso del agua pluvial
   Para los diferentes usos del agua pluvial se construyeron tres cisternas con un volumen total de 300 m^3. La cisterna principal de recolección tiene un volumen de 200 m^3. Aparte existen dos lagunas más pequeñas, una para almacenamiento de agua contra incendios, la otra para la repartición del agua hacia los riachuelos, las lagunas y las paredes de climatización en los invernaderos.
3. Espacios de retención
   Existen diversos espacios de retención, las lagunas y riachuelos internos en los invernaderos, la laguna externa en el área verde encima del garaje, el sustrato del área verde externa, el sustrato en las macetas colgantes, las cisternas de almacenamiento y la zanja de grava debajo del garaje.
4. Filtración y purificación de las aguas recolectadas
   El agua se filtra, por un lado, por las plantas y el sustrato enraizado en las macetas colgantes; por otro lado, por un biótopo de purificación constituido por un sustrato enraizado con macrófitas altas, en las lagunas externas del patio.
5. Climatización de los invernaderos
   Los invernaderos, de un volumen total de 15.000 m^3, son un espacio importante de recreación y encuentro. Para equilibrar su temperatura y humedad se construyeron seis paredes de climatización. Las paredes se realizaron con una pared interior de vidrio coloreado y una pared exterior de acero inoxidable. El agua de cisterna se bombea al tope de las paredes y cae en forma de cascada de varios metros de altura en el espacio interno. La caída del agua crea un fuerte movimiento de aire que deriva en la aspiración de aire del espacio exterior hacia los invernaderos. Por el contacto con el agua, el aire se humidifica y se refresca. En invierno, el agua se calienta a un mínimo de 18° C, para siempre mantener una temperatura agradable en los invernaderos.
   Aparte de este efecto funcional de climatización, las paredes son un elemento importante en la estética de los espacios verdes. El agua crea imágenes coloridas en movimiento, por las paredes de vidrio, y el sonido de la caída del agua aporta a la atmósfera agradable del espacio.

Figura 127
Espacio verde interno, con paredes de climatización





a: invernadero; b: pared de climatización; c: corte por pared de climatización
Fotos y esquema: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

De esta manera, las soluciones ecológicas en el manejo de las aguas pluviales se combinan con funciones sociales, estéticas y de salud, en un conjunto integral arquitectónico, respetando los ciclos naturales locales y utilizando a lo máximo los beneficios del agua para la climatización de la construcción y la creación de grandes espacios verdes en medio de la ciudad.

1.2. Ejemplos urbanos de uso y manejo de aguas pluviales

1.2.1. Gestión de aguas en la ciudad de Hamburgo, Alemania

La descripción se basa en las publicaciones del Senado de Hamburgo de 2000 y 2001, y en las publicaciones científicas de Reese & Fichtner, 2003; Wernicke, 2000.

La ciudad de Hamburgo se caracteriza por su ubicación sobre el estuario del río Elba y varios otros cuerpos de agua. El mantenimiento y el desarrollo del sistema de cuerpos de agua son importantes tareas en el manejo de aguas de la ciudad. La red de cuerpos de agua se agrandó sustancialmente en los últimos 15 años, con los objetivos de un buen manejo de las aguas, que son primero la infiltración de las aguas, luego el desagüe abierto y sólo por último la canalización de las aguas. Se crearon sistemas descentralizados de manejo de las aguas pluviales en varias partes de la ciudad, con la generación correspondiente de nuevos cuerpos de agua para cuidar los recursos ecológicos en base a efectos económicos simultáneos. Por otro lado, la ciudad está en un proceso de densificación de edificaciones, lo que dificulta las medidas de manejo de las aguas pluviales. Se tiene que retener la cantidad máxima de agua localmente. El almacenamiento natural y la retención de las aguas, en combinación con un desagüe retardado hacia la red de alcantarillado por la creación de humedales, tienen que ser fomentados y desarrollados con el objetivo de mejorar la protección de la ciudad contra inundaciones (Freie und Hansestadt Hamburg, 2001).

El municipio creó un catálogo de conceptos y métodos para el manejo de agua (Freie und Hansestadt Hamburg, 2001).

Conceptos: ¡Usar métodos descentralizados!
Encontrar metodologías aplicables y económicas.
Adecuar los sistemas al ciclo hidrológico natural.
Evitar los escurrimientos superficiales es mejor que guiar los escurrimientos.
La protección de los cuerpos de agua y el agua subterránea tienen prioridad.

Métodos: Eliminación y minimización de las superficies selladas.
Uso de materiales permeables, especialmente rejillas prefabricadas de cemento con pasto, para la estabilización de superficies.
Infiltración de las aguas de lluvia.
Implementación de techos naturados con vegetación.
Uso de las aguas pluviales.
Retención de aguas pluviales en estanques y lagunas de retención.

La prioridad en el manejo de aguas es la implementación de sistemas lo más cercano posible a sistemas naturales, en especial cuando se trata de drenajes en zonas de edificaciones nuevas (zonas residenciales y zonas industriales). El desagüe en canales y depresiones abiertas, e infiltración y retención en los terrenos urbanizados, ayuda en el mejoramiento del balance de aguas subterráneas y el mejoramiento del microclima. También se trata de crear aguas corrientes con morfología, estructura y vegetación naturales y diversificadas. El agua de escurrimiento de superficies selladas, especialmente carreteras y parqueos, está cargada con varios contaminantes. Para reducir la contaminación de las aguas naturales se construyen actualmente sistemas de tratamiento de las aguas pluviales al final de la red de alcantarillado, antes de su entrada al río (si se trata de un sistema de alcantarillado separado). Estos sistemas incluyen lagunas de retención de sedimentos y filtros de retención de suelo con vegetación helófita o, mejor dicho, humedales artificiales de retención. El agua purificada se colecta y se dirige al cuerpo receptor. (Freie und Hansestadt Hamburg, 2001).

La planificación del manejo de aguas pluviales se basa en un modelo matemático para la simulación y predicción de eventos hidrológicos de la Universidad Técnica de Hamburg-Harburg (Modelo precipitación - escurrimiento de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Prof. Pasche) (Freie und Hansestadt Hamburg, 2001).

La ciudad de Hamburgo incluye las medidas visibles de manejo de las aguas pluviales conscientemente en la planificación urbana y en el diseño de las áreas públicas de la ciudad para enriquecer las funciones estéticas, sociales y lúdicas. Apoya a proyectos piloto y cambia los reglamentos para animar a propietarios y contratantes privados a implementar medidas descentralizadas. (Reese & Fichtner, 2003; Wernicke, 2000).

El municipio ha desarrollado un manual para sus habitantes, en el que se incentiva y explica las posibilidades de un manejo descentralizado de las aguas pluviales (Freie und Hansestadt Hamburg, 2000).

1.2.2. Gestión de aguas en Berlín, Alemania

La descripción se basa principalmente en varias publicaciones del Senado de la ciudad de Berlín y en las publicaciones científicas de Sieker & Panning, Rueden, Schmidt y Dreiseitl.

Desde hace varios decenios (años 80, Exposición Internacional de Arquitectura, 1987) la ciudad de Berlín ha desarrollado conceptos para urbanizaciones ecológicas y se encuentran muchos ejemplos de proyectos individuales y urbanizaciones con conceptos nuevos en el manejo de aguas en esta ciudad (Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr, [s/f]). El tema más desarrollado es la gestión de las aguas pluviales, su recolección y uso en las viviendas, y la infiltración descentralizada para cerrar los ciclos ecológicos locales, evitar el

descenso de las napas freáticas y los picos de caudal en los cuerpos receptores de agua después de tormentas. También existen muchos techos verdes con varias funciones ecológicas, entre otros se ha estudiado su rol en la retención de aguas. Por otro lado, se ha experimentado en menor grado con inodoros de compostaje y con plantas de purificación mediante macrófitas en el área urbana. Se coordina la investigación de los efectos del manejo de aguas pluviales con la Universidad Técnica de Berlín.

El municipio de Berlín ha evaluado en su catálogo de métodos para la reducción de costos de agua en el sector público todas las medidas posibles, administrativas y de aplicación de nuevas metodologías. Entre éstas se recomienda la implementación de equipos y artefactos sanitarios con bajo consumo de agua. También se trata de reducir el sellado de superficies y en lo posible cambiar las superficies selladas por superficies permeables. Además se recomienda la infiltración de las aguas pluviales en los propios terrenos públicos, el uso de las aguas pluviales como agua de servicio, y la implementación de techos verdes para la retención y evaporación de las aguas pluviales. (Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, 2002).

El municipio ha desarrollado un manual para el uso de agua de servicio en edificaciones. Las fuentes del agua de servicio pueden ser pozos, cuerpos de agua superficiales, drenajes; pero especialmente el escurrimiento de aguas pluviales de techos y otras superficies selladas, y el reciclaje de las aguas grises en la vivienda. (Senatsverwaltung fuer Bau- und Wohnungswesen, 1995).

La empresa de agua potable y aguas servidas de Berlín (Berliner Wasserbetriebe) actualmente está desarrollando un proyecto piloto para el tratamiento separado de las aguas servidas, es decir, de orina, heces y aguas grises, en una de sus dependencias propias en Berlín Stahnsdorf (ver subtítulo 1.1.8. de este capítulo) (Berliner Wasserbetriebe, 2002; Peter-Froehlich, 2003; Peter-Froehlich *et al.*, 2003).

Los proyectos más exitosos de uso y manejo de aguas pluviales se reportan en los siguientes subcapítulos.

Manejo de aguas pluviales en una zona de pequeña industria

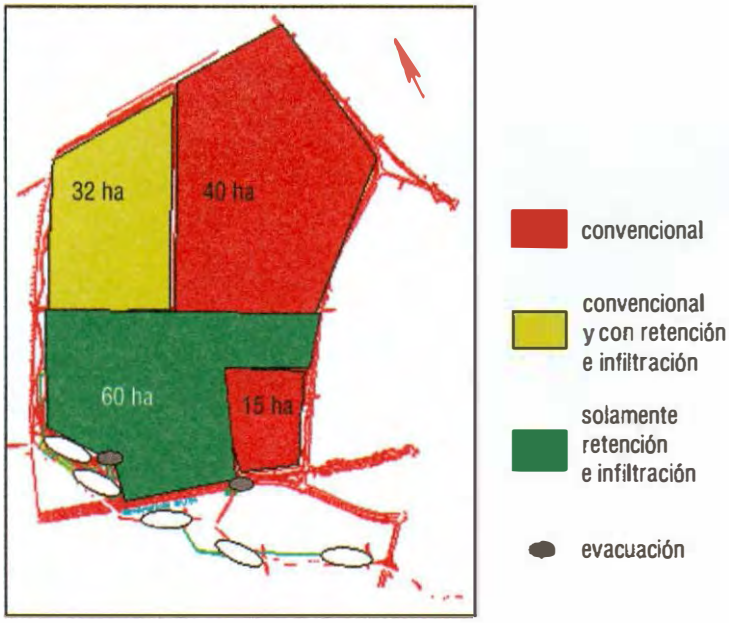
En la zona industrial Dahlwitz-Hoppegarten, ubicada en la periferia de la ciudad de Berlín, y en una zona residencial adyacente, se realizó la retención e infiltración de las aguas pluviales en sistemas de depresiones combinados con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System* = MRS) para minimizar el desagüe de la zona hacia el cuerpo receptor de agua, especialmente después de las tormentas.

Para la zona de pequeña industria, se trata de una superficie de más de 100 ha para construcciones nuevas y 40 ha de superficie ya construida. Como el permiso de desagüe hacia el riachuelo Werner era establecido en 400 l/seg para las 40 ha existentes y ya se estaba usando alrededor de 80% de la capacidad, se tenía que

buscar otras soluciones. Con la ampliación de la zona industrial se esperaba un desagüe de 8 a 10 m^3/seg, estimando un sellado de superficie de 60 a 80% por las construcciones y vías nuevas. No se logró el permiso para desviar esta cantidad de agua hacia el cuerpo receptor, sino sólo se permitió un desagüe especifico de 0,7 l/s x ha de A_E (área total de desagüe). Por este motivo, la infiltración de las aguas pluviales era necesaria (Sieker & Panning, 2000).

Por otro lado, el suelo en esta zona, formado por morrenas margosas de gran espesor, tiene mínima permeabilidad (con un coeficiente de permeabilidad k_f alrededor de 10^{-6} m/seg.). Se decidió retener las aguas de lluvia de forma descentralizada en una red de sistemas de depresiones combinados con zanjas de grava, es decir, el agua se retiene, se infiltra y se guía por este sistema. Las cantidades excesivas de agua, con un desagüe retardado de 10 l/s x ha de A_{RED} (superficie sellada), se desvían mediante rebalses y tubos de drenaje hacia la red pública de desagüe, que desemboca en un sistema de grandes depresiones de infiltración en las áreas verdes publicas (Sieker & Panning, 2000).

Figura 128
Mapa de la zona industrial Dahlwitz-Hoppegarten



Mapa: Sieker GmbH, Berlin.

Cada terreno nuevo tiene sistemas de depresiones y zanjas de infiltración, que son conectados con las canaletas de las edificaciones (MRS privados), las calles se conectan con sistemas *Mulden-Rigolen* paralelas a las vías (MRS públicos). Los sistemas privados cubren una superficie de aproximadamente 70% de

todo el sistema. Las cantidades excedentes de agua se desvían con rebalses a un alcantarillado pluvial público. Estas aguas colectadas se infiltran sobre terrenos públicos en grandes depresiones ordenadas en serie, en forma de cascada, que se integran en las áreas verdes públicas. Finalmente, el exceso de aguas durante las tormentas rebalsa hacia el cuerpo receptor: el riachuelo Werner. (Sieker & Panning, 2000).

Figura 129
Sistemas de infiltración públicos y privados en la zona industrial

a: *Mulden-Rigolen-System* en las vías de tráfico, con bordes interrumpidos para la entrada de las aguas de escurrimiento; b: salida de las aguas pluviales de la canaleta y entrada a una depresión (Laboratorios Quelle)
Fotos: Margot Franken.

Los sistemas de *Mulden-Rigolen* paralelos a las vías de tráfico están bordeados por bloques de cemento que guían el agua hacia la depresión. Los elementos tienen un largo de alrededor de 5 a 10 m y están separados por suelo virgen de 1m de largo con árboles. La separación de los elementos del sistema es especialmente necesaria en lugares con pendiente para evitar el flujo rápido dentro de las zanjas de grava (*Rigolen*) y rebalse al final del sistema.

Figura 130
Áreas públicas finales de recepción e infiltración de las aguas pluviales excedentes de la zona industrial

a: depresiones de infiltración en cascada. En el muro del fondo sale el tubo de desagüe.
Foto: Margot Franken, agosto de 2003
b: muro de salida del tubo de desagüe de las aguas pluviales excedentes de la zona industrial.
Foto: Harald Sommer, verano de 2002.

Figura 131
Cuerpo receptor, riachuelo Werner, ubicado debajo de las zonas públicas de infiltración

Foto: Margot Franken, agosto de 2003.

Los resultados de este sistema son los siguientes:

- Se retiene e infiltra entre 60 y 80% de las aguas pluviales (promedio de varios años).
- El desagüe máximo del terreno completo es de menos de 2 l/s x ha_{AE} (área total de desagüe).
- El agua pluvial se purifica al pasar por el suelo vegetado de las depresiones.
- El caudal mínimo del riachuelo Werner durante épocas secas se incrementa.
- Eventuales accidentes con contaminantes en las industrias se ponen en evidencia en el principio, no entran a las aguas superficiales y su saneamiento es más fácil.
- Se ahorró el 30% de la inversión necesaria para un sistema centralizado de retención de aguas pluviales.
- Los costos de mantenimiento de los sistemas son semejantes a los costos necesarios para un sistema convencional.

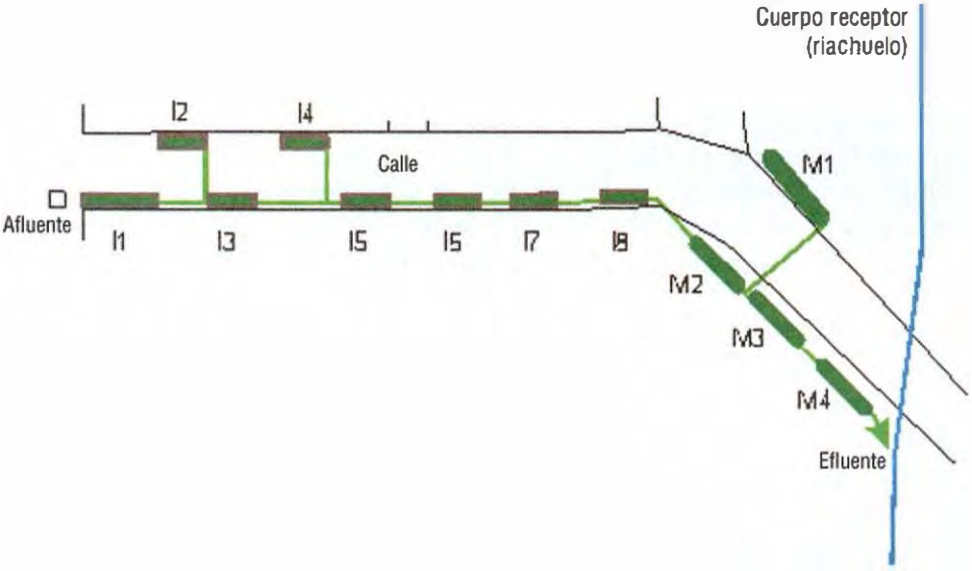
En la zona industrial Dahlwitz-Hoppegarten en el año 1999 se detectó la entrada de hidrocarburos de petróleo al sistema de infiltración. Las experiencias de este evento muestran lo siguiente: si el agua de lluvia se colecta en depresiones y no entra directamente a canales de desagüe subterráneos, una contaminación con hidrocarburos es visible y perceptible por el olfato. La fuente se puede detectar fácilmente. El agua contaminada se retiene en las depresiones. Por el tiempo de retención en las depresiones, se tiene posibilidades de planificar y realizar medidas de saneamiento antes de que el agua contaminada entre a un cuerpo de agua superficial o a la napa freática. Dependiendo de la solubilidad en agua y la movilidad de la mezcla de hidrocarburos, se retiene en el pasto y/o en las capas superiores de suelo de las depresiones, y los contaminantes se descomponen en esta zona por la presencia de microorganismos. En caso del desagüe directo por el alcantarillado, los contaminantes no se detectan tan fácilmente, no se descomponen, y entran rápidamente al cuerpo receptor. De esta manera los sistemas de infiltración tienen función de protección para las napas freáticas y el cuerpo receptor (AWF, 2001).

En la zona residencial adyacente al parque industrial también se instalaron elementos de un sistema de depresiones combinados con zanjas, en este caso un sistema *Mulden-Rigolen* compacto especial (Innodrain [R]), por el espacio reducido en las calles. La zanja está rellenada con elementos Rigofill, bloques de plástico con más de 90% de volumen para la retención de agua (figura 71) (Sommer, com. pers., 2003).

Figura 132
Sistema Innodrain ®, corte longitudinal

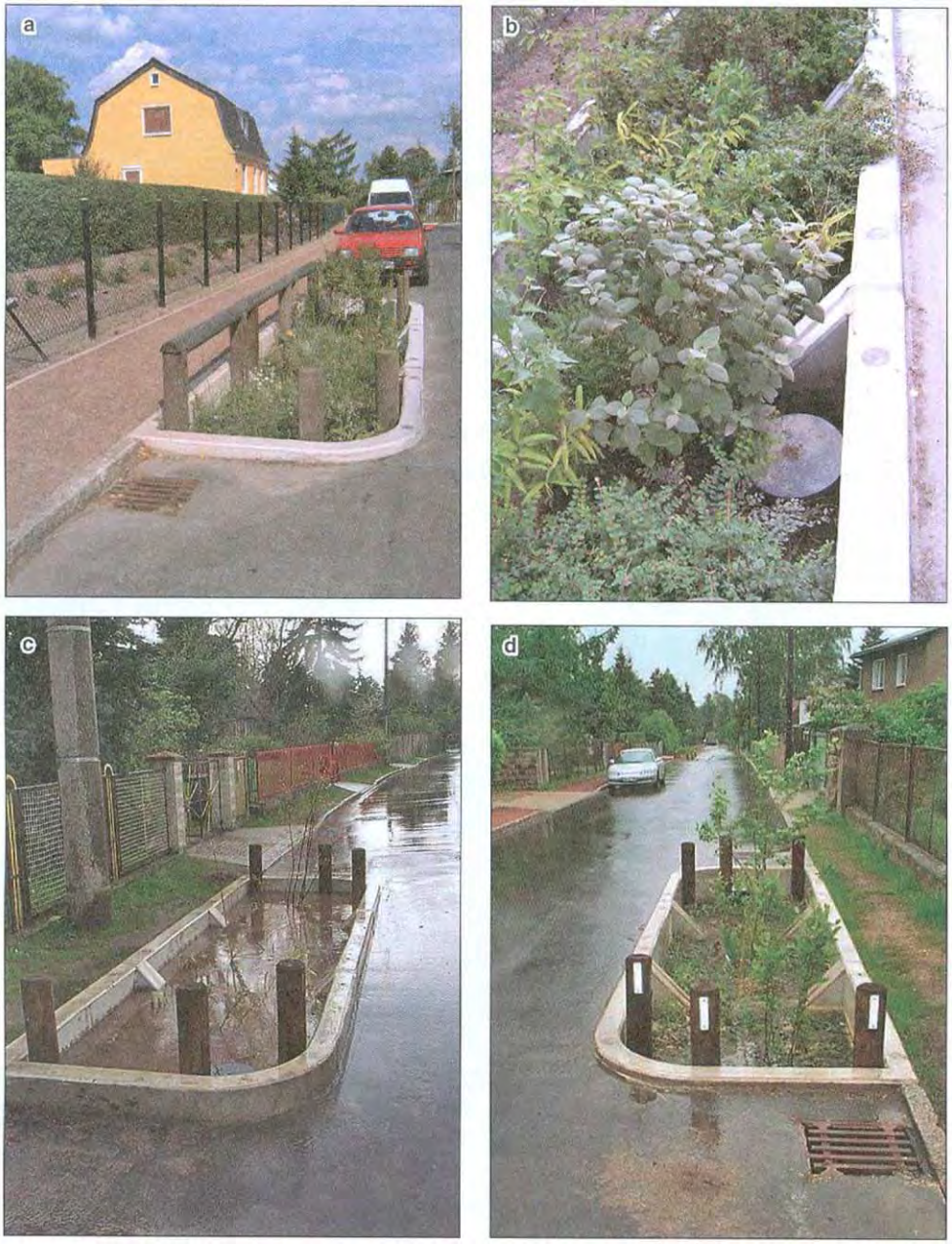
Esquema. Sieker GmbH, Berlín.

Figura 133
Mapa de implementación del sistema Innodrain en la calle de la urbanización



Esquema: Sieker GmbH, Berlín.

Figura 134
Sistema Innodrain en la zona residencial



a: diseño de uno de los elementos Innodrain. El agua entra por el sumidero de la calle en forma subterránea al sistema; b: vegetación en uno de los elementos. Se observa el rebalse de las aguas hacia el alcantarillado (artefacto redondo); c: elemento inundado en abril de 2001. Vegetación recién plantada; d: entrada de agua al elemento en mayo de 2002. Se observa el sumidero de afluente

Fotos a y b: Margot Franken, agosto de 2003. Fotos c y d: Harald Sommer

Los elementos de Innodrain [R] en la zona de viviendas se construyeron con paredes de cemento, por el poco espacio existente en la calle estrecha. Los elementos alternan entre los dos lados de la calle y sirven además como obstáculos para calmar el tráfico. El agua entra por los sumideros y sale en los sistemas por tubos verticales con agujeros en su superficie. La depresión se llena de agua y el excedente rebalsa mediante otros tubos con hueco central hacia el alcantarillado. En este caso, las plantas usadas para cubrir la superficie de la depresión no son pastos, sino vegetación arbustiva de valor ornamental, con raíces poco profundas.

Uso de agua de lluvia en viviendas

- *Urbanización en Berlin-Lankwitz*

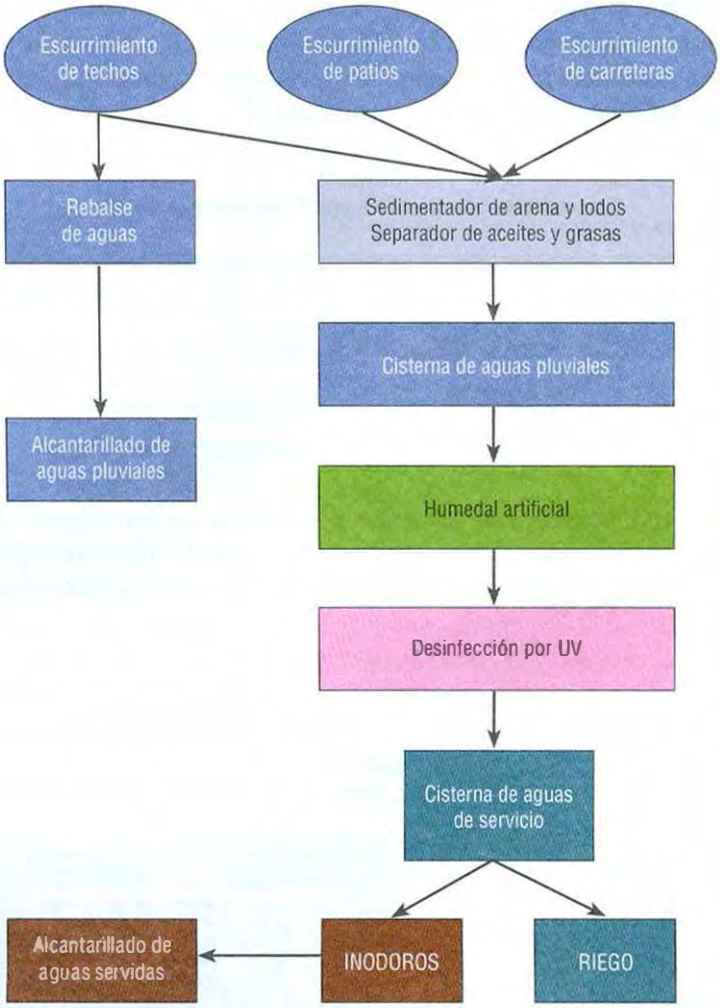
Una característica única de este ejemplo es que se usa no sólo el agua de escurrimiento de los techos, que sólo tienen una superficie de 8,5 m³ por habitante, sino que también se usa el agua de escurrimiento de las vías públicas para aumentar la cantidad de agua disponible. Para la purificación de esta agua se usa un filtro de suelo con vegetación o humedal artificial, y luego desinfección de las aguas tratadas con luz UV El agua se utiliza para los inodoros de aproximadamente 200 personas y para el riego de los jardines. Aunque se introducen también aguas de escurrimiento contaminadas a la cisterna, después del tratamiento de esta agua todos los parámetros físico-químicos se encuentran debajo de los límites establecidos para aguas de servicio en Berlín. Los requerimientos de energía para el tratamiento y la distribución de las aguas de servicio son bajos, en total 0,85 kwh/m³ (Rueden *et al.*, [s/f]; Schmidt, 2003 a; Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, 2003).

Tabla 42
Datos del proyecto

Superficies conectadas	Techos	7.325 m²
	Vías y parqueos	4.450 m²
Áreas verdes irrigadas	1.100 m²	
Capacidad de cisternas	180 m³ (corresponde a 3% = 15 mm de precipitación)	
Uso diario	9.1 m³	
Relación entre uso de agua pluvial y agua potable	69:31%	
Humedal artificial	2,5 m² (dentro del edificio)	
Tiempo de retención en el humedal	40 minutos	

Fuente: Schmidt, 2003 b.

Figura 135
Esquema de tratamiento y uso de las aguas pluviales en la urbanización Lankwitz



Basado en varios autores.

– Urbanización Schweriner Hof (parte del Proyecto Modelo Nacional Urbanización Grande Hellersdorf en Berlín, de la República Federal de Alemania)

El Schweriner Hof es el área verde de la Urbanización Grande Hellersdorf, con 100.000 habitantes, que fue construida entre 1985 y 1992 en forma convencional. Las edificaciones tienen mayormente cinco a seis pisos y contienen en total 45.000 viviendas.

El proyecto actual muestra que las edificaciones ecológicas pueden mejorar la calidad de vida y simultáneamente ahorrar costos. El Schweriner Hof es un

buen ejemplo para la integración del diseño de los alrededores de las viviendas y las implementaciones técnicas. Este proyecto combina el mejoramiento de la calidad de vida con el ahorro de agua potable mediante el uso de las aguas pluviales. Se trata de un sistema combinado de cisternas - laguna - infiltración. Los objetivos son la retención de las aguas de lluvia en el terreno de la urbanización, el uso de las aguas para la laguna y su uso para el riego de las áreas verdes.

Tabla 43
Especificación de las superficies disponibles

Superficie total del proyecto	Aprox. 13.500 m²
Superficie de techos	Aprox. 3.450 m²
Superficie de las áreas verdes	Aprox. 10.000 m²
Superficie regada	Aprox. 8.000 m²
Superficie de la laguna	Aprox. 1.000 m²

Fuente: Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998.

El proyecto de manejo de las aguas pluviales se ha investigado durante su implementación y uso por el Institut fuer Technisch-Wirtschaftliche Hydrologie (ITWH). El Departamento de Higiene de la Universidad Técnica de Berlín supervisa la calidad físico-química del agua en la cisterna y la laguna. Las investigaciones muestran una calidad regular de las aguas, correspondiente a las normas para aguas de recreación de la Comunidad Europea.

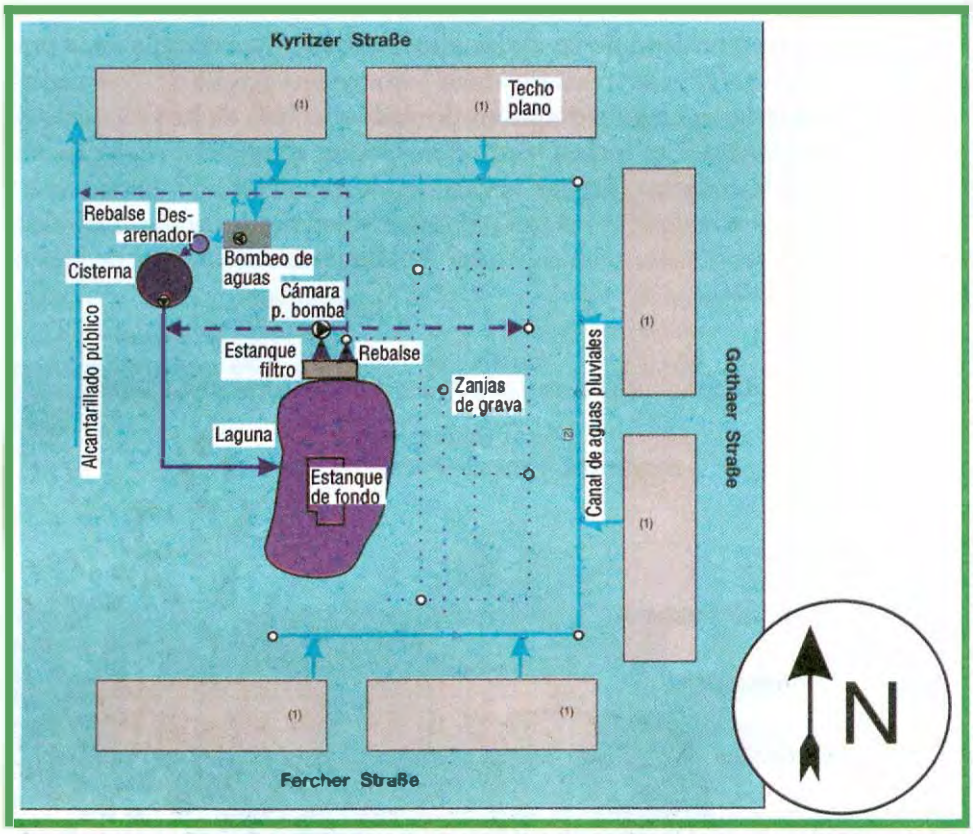
Figura 136
Viviendas y área verde Schweriner Hof

Fuente: Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998.

Las aguas de lluvia se colectan de los techos de las viviendas adyacentes. Desde un pozo de bombeo el agua pasa por un colector de arena y se introduce a la cisterna subterránea (volumen alrededor de 400 m³). Dependiendo de la cantidad de precipitaciones, el agua se guía por gravedad hacia una laguna en el centro del

área verde, para mantener su nivel de agua. El agua se usa, además, en el riego de las áreas verdes. Así se ahorra una cantidad significativa de agua potable. El rebalse de la laguna se infiltra en canales de drenaje en la parte inferior del área verde (Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998; Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, 2003).

Figura 137
Esquema de manejo de las aguas pluviales en la urbanización Schweriner Hof



Fuente: Senatsverwaltung fuer Bauen, Wohnen und Verkehr & Wohnungsbaugesellschaft Hellersdorf, 1998.

Aparte de la función social del agua en el área verde, y de su función ecológica, se mejora el microclima. La laguna alberga una variedad de animales pequeños y aves.

– *Techos verdes y uso de aguas pluviales en la UFA-Fabrik*

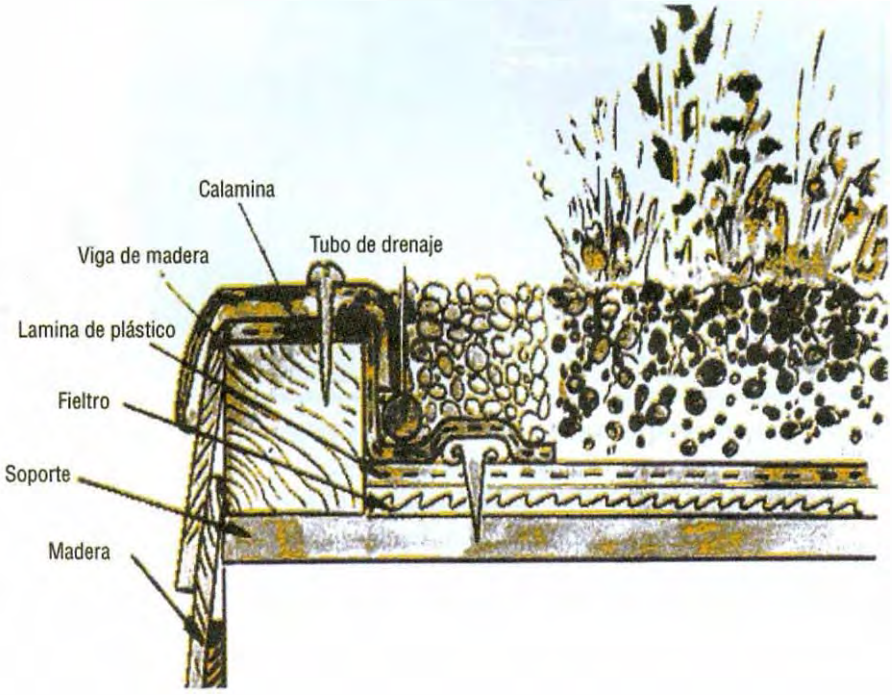
La descripción se basa en las publicaciones de la UFA-Fabrik, 1999a y b; Diestel & Schmidt, 1998.

Techos verdes

Los techos verdes tienen una superficie total de 4.000 m². Sirven para la retención de polvos (500 g/m² y año), el aislamiento térmico de los edificios, la filtración de nutrientes y contaminantes contenidos en las aguas pluviales, y el escurrimiento retardado de las aguas pluviales por almacenamiento y evapotranspiración.

El sustrato y la vegetación evaporan alrededor de 75% de las precipitaciones anuales en Berlín. Los techos naturados son más efectivos en la retención de aguas pluviales que las lagunas artificiales de retención, comparando los costos de su implementación por m³ y su efectividad de retención. Los estudios correspondientes son realizados por la Universidad Técnica de Berlín (UFA-Fabrik, 1999a).

Figura 138
Esquema de construcción de los techos naturados en la UFA-Fabrik



Fuente: UFA-Fabrik, 1999a.

Figura 139
Medición de parámetros climáticos y escurrimiento en un techo verde de la UFA-Fabrik

Foto: Marco Schmidt, Berlin.

En algunos techos, la naturación se combina con paneles solares, lo que tiene un efecto de mejoramiento mutuo. La vegetación crece mejor por la sombra de los paneles y el rendimiento de los paneles fotovoltaicos aumenta por el efecto de enfriamiento de la vegetación (Schmidt, com. pers., 2003).

Figura 140
Techo verde de la UFA-Fabrik, con paneles fotovoltaicos

Foto: Margot Franken.

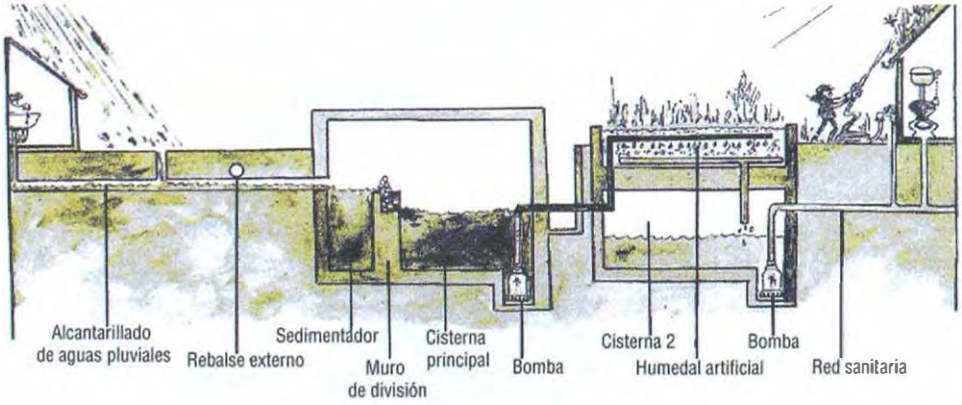
Elementos del uso de las aguas pluviales para inodoros y riego de las áreas verdes
Las aguas pluviales se recolectan de techos, calles y patios del terreno propio, y se introducen a un depósito de sedimentación con tres compartimentos. Luego se bombean a un filtro de vegetación ubicado en el techo de una segunda cisterna y percolan hacia abajo. Por una bomba, el agua de cisterna se sube a los puntos de uso, los inodoros y las conexiones para el riego de los jardines (figura 141). Las áreas verdes regadas ocupan un área aproximada de 6.000 m². (UFA-Fabrik, 1999b)

Tabla 44
Superficies de recolección de las aguas de lluvia

Tipo de superficie	Superficie (m²)
Techos sin vegetación	3100
Techos naturados	2600
Vías y patios sellados	1900

Fuente: Diestel & Schmidt, 1998.

Figura 141
Sistema de manejo y uso de aguas pluviales



Fuente: Diestel & Schmidt. 1998.

Tabla 45
Parámetros del sistema de uso de aguas pluviales

Tamaño total del depósito de aguas pluviales	240 m³ (corresponde a 7.3% de la precipitación anual = 42 mm)
Humedal artificial para tratamiento	25 m²
Tiempo de retención en el humedal	24 horas
Uso diario	6.3 m³ (3 - 11 m³) = 1.04 mm
Relación entre uso de agua pluvial y adición de agua potable	64:36% (cálculo por simulación)
Grado de uso del agua pluvial disponible	72% (cálculo por simulación)
Retención de nutrientes y contaminantes	> 90% (estimado)

Fuente: Diestel & Schmidt, 1998.

En el terreno de la UFA-Fabrik, por primera vez se captaron las lluvias no sólo de los techos, sino también de las vías de tráfico y zonas de parqueo. Este concepto no sólo aumenta la cantidad de agua pluvial disponible para el uso, sino también disminuye la carga de contaminantes que drenan junto con el agua de escurrimiento hacia los cuerpos receptores. Especialmente en zonas con un sistema de alcantarillado separado para aguas pluviales, este tipo de uso puede reducir sustancialmente las cargas ambientales en las aguas superficiales. La carga más alta de sustancias contaminantes en el agua de escurrimiento de las vías hace necesario el pretratamiento de las aguas para no exceder los límites permisibles establecidos para agua de servicio. Ese tratamiento se realiza por un humedal artificial ubicado encima de la segunda cisterna, que recibe finalmente las aguas tratadas. (Diestel & Schmidt, 1998).

Tabla 46
Retención anual de nutrientes y contaminantes en el sistema de uso de agua en los años 1994 hasta 1996

Nitrógeno total	Amonio	Nitratos	Nitritos	Fosfatos
2.59 kg	1,1 kg	10,07 kg	0.91 kg	376 g
Potasio	**Sulfatos**	**Cloruros**	**Plomo**	**Cadmio**
15.98 kg	38,67 kg	23,95 kg	19,7 g	6.45 g

Fuente: DIESTEL & SCHMIDT 1998

Cuerpo de agua en la plaza Potsdam

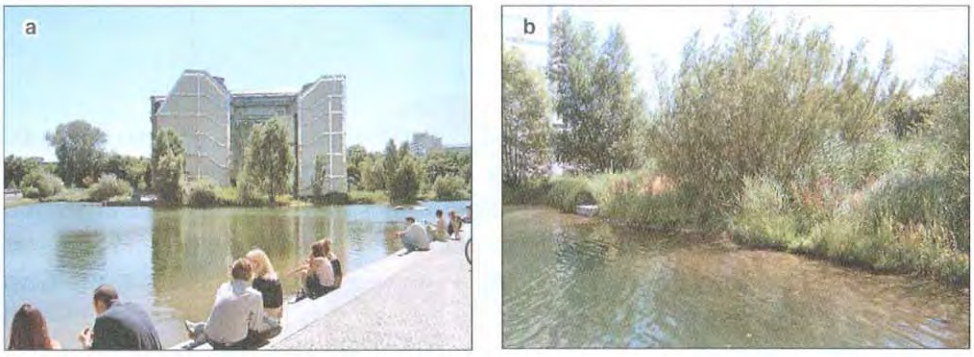
Cuando se planificó transformar la plaza Potsdam en un nuevo centro comercial y de grandes empresas para la ciudad de Berlín, se tenía que encontrar también una nueva solución de manejo de aguas pluviales para contrarrestar el sellado de grandes superficies por los edificios nuevos. Finalmente se decidió integrar las aguas en el diseño de las nuevas plazas con funciones ecológicas, estéticas y recreativas. Se diseñó un sistema de uso de las aguas pluviales cosechadas en los edificios empresariales de Sony y Daimler Chrysler, y se implementó un sistema de cuerpos de agua donde se recolectan y purifican las aguas de lluvia en un sistema de recirculación, antes de que los excedentes rebalsen a un cuerpo receptor cercano: el canal Landwehr. La laguna de recreación, dividida en varias partes, tiene una superficie total de 1,2 ha y almacena 12.000 m^3 de agua, su profundidad máxima es 1,85 m y su perímetro alcanza 1,7 km. El sistema de lagunas retiene el agua con rebalse retardado hacia el cuerpo receptor, mejora el microclima en medio de los edificios y atrae a los visitantes a este nuevo centro urbano. (<www.dreiseitl.de>).

Tabla 47
Datos del proyecto

Superficie acuática	12.050 m²
Longitud de ribera	1.680 m
Longitud de los cantos de rebalse	44 m
Volumen de agua	11.930 m³
Volumen de almacenamiento durante eventos de tormenta	máx. 3.100 m³
Volumen de almacenamiento de las cisternas adicionales en los edificios	2.600 m³
Profundidad mínima del cuerpo de agua	0.27 m
Profundidad máxima del cuerpo de agua	1.85 m
Volumen de recirculación en laguna principal mas laguna sur	500 m³/hora
Volumen de recirculación en laguna norte mas laguna de piazza	300 m³/hora
Superficie de biotopos de purificación	1.670 m²
Volumen de biotopos de purificación	1.410 m³
Superficies plantadas	2.290 m²
Sistema de monitoreo (laminas plásticas con monitoreo automático)	13.840 m²
Longitud de tubos de distribución	1,2 km

Fuente: Atelier Dreiseitl, 2000.

Figura 142
Cuerpo de agua central y franja con vegetación purificadora del agua, en la plaza Potsdam



a: laguna de aguas pluviales: b: humedal artificial de purificación de aguas. Fotos: Margot Franken.

Los elementos usados en el manejo integral de las aguas pluviales son los siguientes (Dreiseitl *et al.*, 2001; <www.dreiseitl.de>, Diestel & Schmidt, 1998):

- Techos naturados en 4 ha.
- Recolección del agua de escurrimiento de los techos.
- Almacenamiento de las aguas para uso en una cisterna de 2.000 m³.
- Uso de las aguas pluviales en los inodoros de los edificios y el riego de las áreas verdes.
- Almacenamiento del agua en un sistema artificial de cuatro cuerpos de agua interconectados para la retención de aguas, la protección contra inunda-

Figura 143
Manejo de aguas en la plaza Potsdam

a: plan de ubicación del sistema de lagunas. Abajo se observa el cuerpo receptor, el canal Landwehr;
b: esquema de manejo de aguas pluviales;
c: biótopo de purificación
Esquemas: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

ciones y la climatización de las plazas, con un total de 1,2 ha de superficie (figuras 142, 143).
- Rebalse retardado hacia el canal Landwehr.
- Zonas ribereñas plantadas con caña (*Phragmites australis*), como biótopos para la purificación de las aguas, con una superficie de 1.900 m² (figuras 142, 143c).
- Sistema de reciclaje automático del agua en la laguna y sus biótopos de purificación, regulado principalmente por la turbidez del agua de la laguna principal.
- En caso de formación de algas, el agua se pasa por mallas finas y un filtro de varias capas.

Se implementaron varios elementos para la retención de contaminantes existentes en las aguas pluviales, que son la vegetación en los techos naturados, las macrófitas y el sustrato en el sistema de lagunas. No se usan sustancias químicas para el tratamiento de las aguas, ni para mantener el equilibrio en los cuerpos de agua.

1.2.3. Gestión de aguas pluviales en la zona minera del río Ruhr, Alemania

Las descripciones se basan principalmente en las publicaciones de las organizaciones regionales Emschergenossenschaft y Lippeverband, y el libro de Geiger & Dreiseitl, 2001.

La zona del río Ruhr tiene problemas especiales con el manejo de las aguas, por sus fuentes de contaminación industrial y minera, y por la formación de grandes depresiones a causa de las actividades mineras. Actualmente, se realizan muchos proyectos de manejo descentralizado de las aguas pluviales en toda la zona, con el apoyo de la Emschergenossenschaft, la organización de manejo de aguas más antigua de Alemania, cuyas tareas son la purificación de aguas servidas, la garantía del drenaje, la protección contra inundaciones y el mantenimiento de los cuerpos de agua. Se realizaron medidas de uso y manejo de aguas de lluvia en distintas zonas y para distintos usos de terreno: colegios, hospitales, hogares de ancianos, unidad de manutención municipal, centros de cultura, iglesias, zonas residenciales e industriales.

La integración de varios elementos de diseño de canales abiertos, depresiones de infiltración, lagunas permanentes y semipermanentes ha mostrado su funcionalidad, y tiene alta aceptación por los usuarios. En la fase de planificación, el desagüe en canales y otros sistemas abiertos muchas veces era un problema para los habitantes, hasta que se crean nuevas costumbres. Por otro lado, en todos los proyectos, parte del agua pluvial se recicla, sea para procesos industriales o para las viviendas, o el riego de los jardines, así que en cada caso se disminuye

el consumo de agua potable, lo que incrementa el interés de la población en los nuevos sistemas (Emschergenossenschaft, [s/f]; Emschergenossenschaft & Lippeverband, [s/f]).

Se escogieron cuatro proyectos distintos para demostrar las posibilidades del manejo descentralizado de las aguas pluviales: una industria (Rockwool, Gladbeck), una universidad (Fachhochschule y Hans-Schwier-Berufskolleg Gelsenkirchen), una urbanización (Schuengelberg, Gelsenkirchen) y un hospital (St. Elisabeth-Krankenhaus, Herten).

Industria Rockwool en Gladbeck (Emschergenossenschaft, [s/f])

Tabla 48
Especificación de las superficies disponibles

Superficie total	24.000 m²
Superficie sellada	22.000 m²
Superficie desconectada de la canalización	19.000 m²
Desconexión por uso de las aguas pluviales	19.000 m²
Volumen del depósito de almacenamiento	600 m³

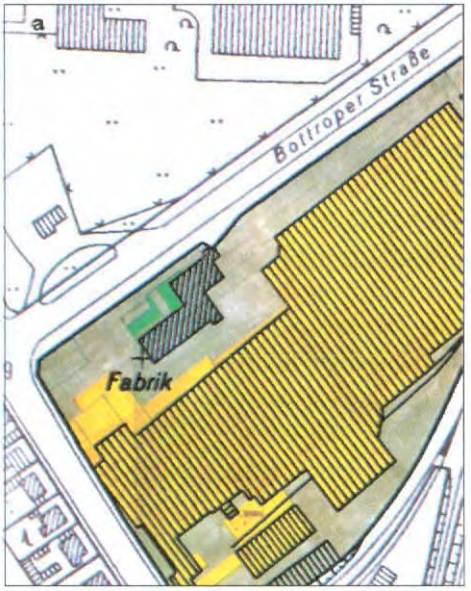
Fuente: Emschergenossenschaft, [s/f].

La industria produce materiales aislantes para el ahorro de energía en edificaciones y otras aplicaciones.

Como se puede ver en la figura 144, el terreno de la fábrica está completamente sellado. Casi toda la superficie sellada está incluida en el proyecto de manejo de aguas pluviales. La industria tiene un alto consumo de agua para su producción, aproximadamente 500 m³ diarios. El estanque de almacenamiento se adecua a este volumen. Las condiciones para el uso de las aguas de lluvia son ideales, como el agua se usa en forma constante, 24 horas al día y 365 días al año. El agua de escurrimiento de 86% de todas las superficies de los techos se colecta por tubos y se lleva a varios depósitos intermedios, desde los cuales se bombea al depósito central y de ahí se introduce al proceso industrial. Durante el proceso, el agua se evapora y queda en el producto parcialmente. De esta manera la industria reemplaza anualmente 18.000 m³ de agua potable.

El proyecto se realizó durante la producción normal, en una empresa con alta sensibilidad en los procesos de producción. El volumen almacenado para las aguas, comparado con la superficie conectada, es extremadamente pequeño, lo que sólo es posible por el uso continuo del agua.

Figura 144
Esquema de manejo de aguas en la industria Rockwool



a: superficies de recolección de agua. Gris: superficie conectada al alcantarillado Amarillo: superficie de recolección de aguas pluviales Verde: áreas verdes.
b: terreno de la fábrica
Fuente: Emschergenossenschaft. [s/f].

Universidad Técnica y Colegio Hans Schwier, Gelsenkirchen (Emschergenossenschaft, [s/f])

Tabla 49
Especificación de las superficies disponibles

Superficie total	135.000 m²
Superficie sellada	60.000 m²
Superficie desconectada de la canalización	21.300 m²
Desconexión por infiltración de las aguas	17.300 m²
Desconexión por techos verdes	4.000 m²
Superficie creada para la infiltración	1.700 m²

Fuente: Emschergenossenschaft, [s/f].

La universidad está construida sobre un terreno poco inclinado, con suelos limosos poco permeables. Las aguas recolectadas de los techos se llevan a canales abiertos que forman, junto con algunas lagunas pequeñas, un elemento estético en el área verde del *campus*. El agua se dirige a unas depresiones de infiltración más grandes al pie del *campus* y finalmente a un riachuelo pequeño, lo que mejora el balance de aguas durante las épocas secas.

Figura 145
Esquema de manejo de aguas

Gris: superficie conectada al alcantarillado. *Amarillo*: superficies de recolección de aguas pluviales. *Amarillo con rayas*: techos naturados. *Verde*: áreas verdes. *Verde oscuro*: superficies de infiltración. *Azul*: cuerpo de agua.
Fuente: Emschergenossenschaft, [s/f].

Figura 146
Elementos de desagüe e infiltración de aguas pluviales

a: Uso de los caminos peatonales para el drenaje de las aguas pluviales; b: Canal abierto para el drenaje de las aguas pluviales

c: Área de parqueo sin sellado de superficie; d: Material usado para estabilizar la superficie del área de parqueo

e: Desagüe final; f: Zona de infiltración final
Fotos: Margot Franken.

Hospital Sta. Elisabeth y Centro de Psiquiatría y Psicoterapia de Westfalia, Herten

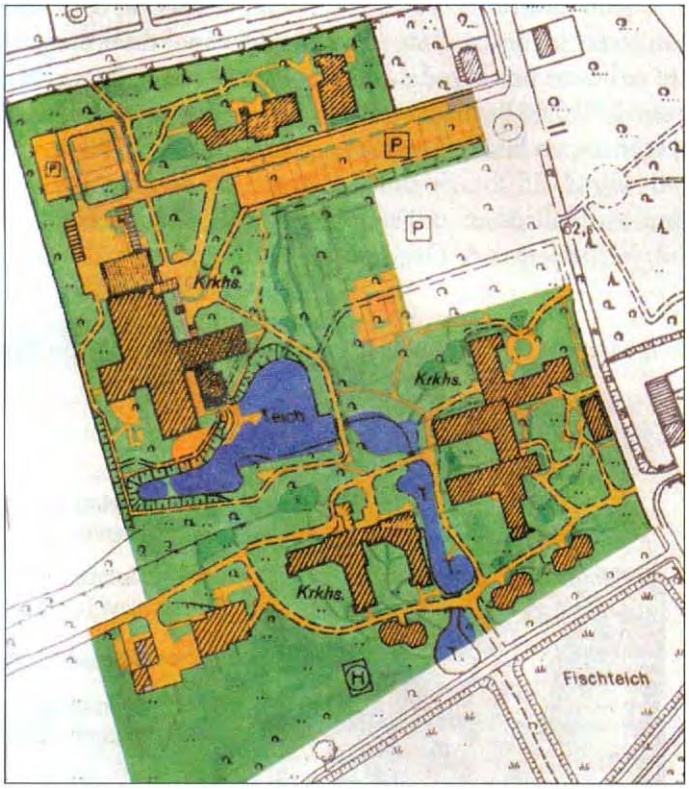
Tabla 50
Especificación de las superficies disponibles

	Hospital	Centro psiquiatrico
Superficie total	55.000 m²	67.000 m²
Superficie sellada	22.400 m²	23.250 m²
Superficie desconectada del alcantarillado	22.400 m²	23.250 m²
Desconexión por entrada a lagunas y finalmente a un riachuelo cercano	casi 20.000 m²	7.100 m²
Desconexión por infiltración de las aguas	(no se sabe)	16.100 m²
Desconexión por techos verdes	2.400 m²	2.400 m²
Desconexión por uso de las aguas pluviales	(no se sabe)	
Superficie creada para la infiltración	1.300 m²	600 m²
Volumen del depósito de almacenamiento	100 m³	

Fuente: Emschergenossenschaft, [s/f].

El escurrimiento de las aguas pluviales desconectadas del alcantarillado se dirige a un sistema de lagunas en serie, el rebalse de las cuales entra a un riachuelo. El caudal retardado que llega al riachuelo mejora su balance de aguas. En este caso se usó principalmente un sistema de lagunas existentes en el terreno y un área verde adyacente para lograr ese desagüe retardado hacia un pequeño cuerpo receptor. La integración armónica de las vías del agua y las depresiones de infiltración en el parque de los hospitales es importante para el estado de ánimo de los pacientes.

Figura 147
Esquema de manejo de aguas



Gris: superficie conectada al alcantarillado. *Amarillo*: superficies de recolección de aguas pluviales. *Amarillo con rayas*: techos naturados. *Verde*: áreas verdes. *Verde oscuro*: superficies de infiltración. *Azul*: cuerpo de agua
Fuente: Emschergenossenschaft, [s/t].

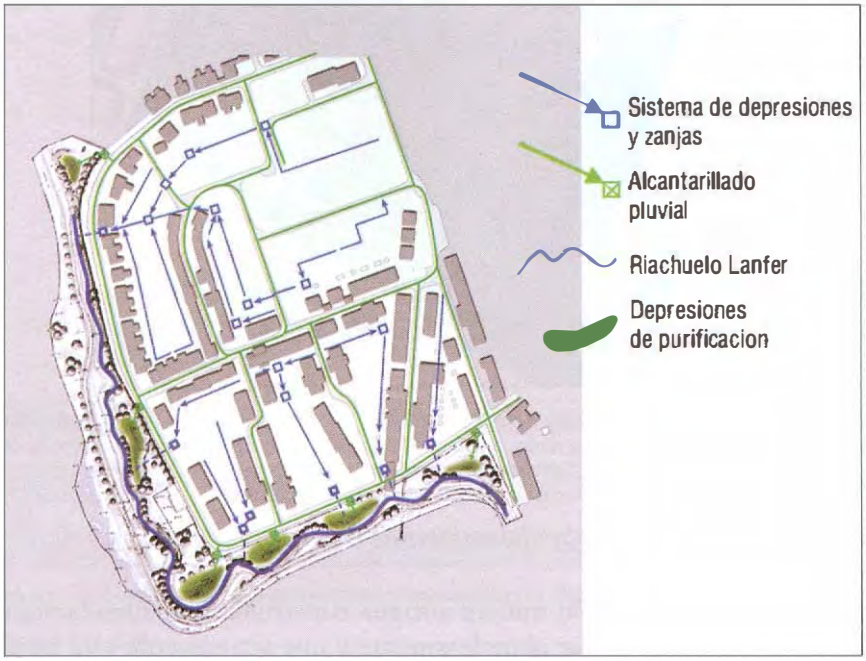
Urbanización Schuengelberg, Gelsenkirchen

Se trata de una urbanización minera antigua construida aproximadamente en 1900, que se tenía que sanear completamente y que actualmente está ampliada al doble de tamaño. La mayoría de los habitantes son trabajadores turcos con sus

familias. En el concepto de saneamiento de la urbanización se incluyeron no sólo los alrededores inmediatos, sino también un pequeño cuerpo de agua canalizado (Lanferbach, figura 149b), receptor del drenaje de los pasivos ambientales de la mina y antes también de las aguas servidas. Las colas de mina se restauraron como área verde y las aguas servidas entran ahora al sistema de alcantarillado. (Emschergenossenschaft & Lippeverband, [s/f]; Geiger & Dreiseitl, 2001).

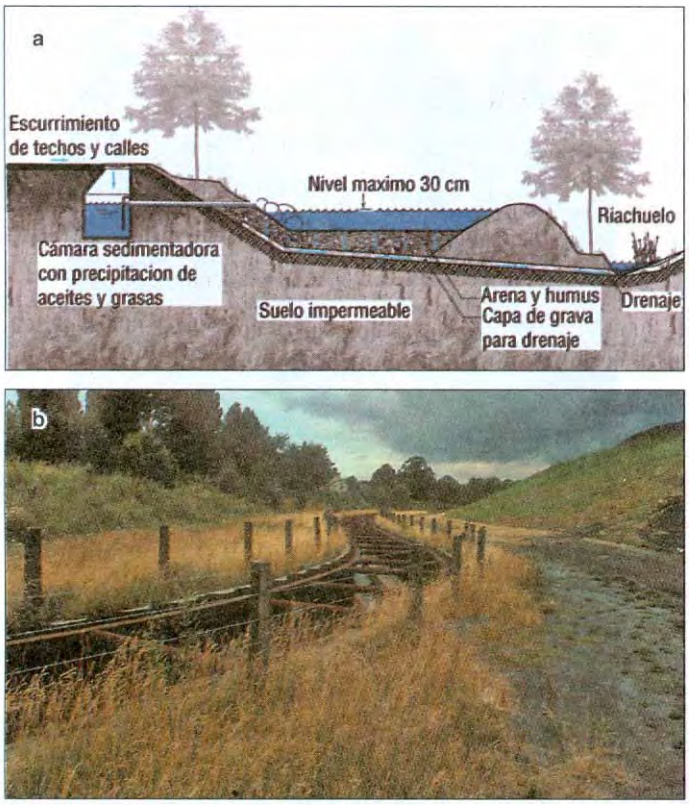
Dentro de la urbanización, las aguas pluviales se integran en pequeñas áreas verdes para crear campos de juego para los niños (figura 151). Las aguas de los techos se infiltran en sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*) paralelos a las casas (figura 150a), los rebalses y las aguas de escurrimiento de las calles se llevan a depresiones de infiltración, al lado del pequeño cuerpo receptor mencionado (figuras 148, 149, 150b). Se desconectaron todas las aguas contaminadas del canal de drenaje (Lanferbach) y actualmente se llevan por la red de alcantarillado a una planta de purificación. El canal (figura 149b) se destruyó para crear un pequeño riachuelo con zonas húmedas adyacentes, en las cuales se integraron los restos de muros antiguos de la mina cerrada (figura 150b). En muchos proyectos se usan actualmente tierras de excavación y escombros en el diseño del paisaje. (Emschergenossenschaft & Lippeverband, [s/f]; Geiger & Dreiseitl, 2001).

Figura 148
Elementos de manejo de aguas pluviales usados en la urbanización Schuengelberg



Esquema: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

Figura 149
Riachuelo Lanferbach



a: superficies de infiltración hacia el riachuelo Lanferbach. Esquema: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.
b: riachuelo Lanferbach antes de su renaturación. Foto: Atelier Dreiseitl, Ueberlingen.

Figura 150
Vías del agua en la urbanización Schuengelberg

a: canales de desagüe de los terrenos privados hacia un sistemas de depresiones combinadas con zanjas de grava (*Mulden-Rigolen-System*); b: riachuelo Lanferbach renaturado. En su ribera se observan los restos de los muros de la mina. Fotos: Margot Franken.

Figura 151
Vías de las aguas de lluvia, zona de recreación en la urbanización Schuengelberg

Fuente: Emschergenossenschaft & Lippeverband [s/f].

1.2.4. Uso de aguas pluviales y aguas grises en Tokio, Japón

La descripción se basa en la publicación del BMBF, 2001 y en varios artículos de Koenig.

El uso de efluentes de plantas de purificación de aguas servidas como aguas de servicio es estándar en las grandes ciudades de este país. También existen buenos ejemplos para el reciclaje directo de aguas grises y el uso de aguas pluviales en el lugar de origen.

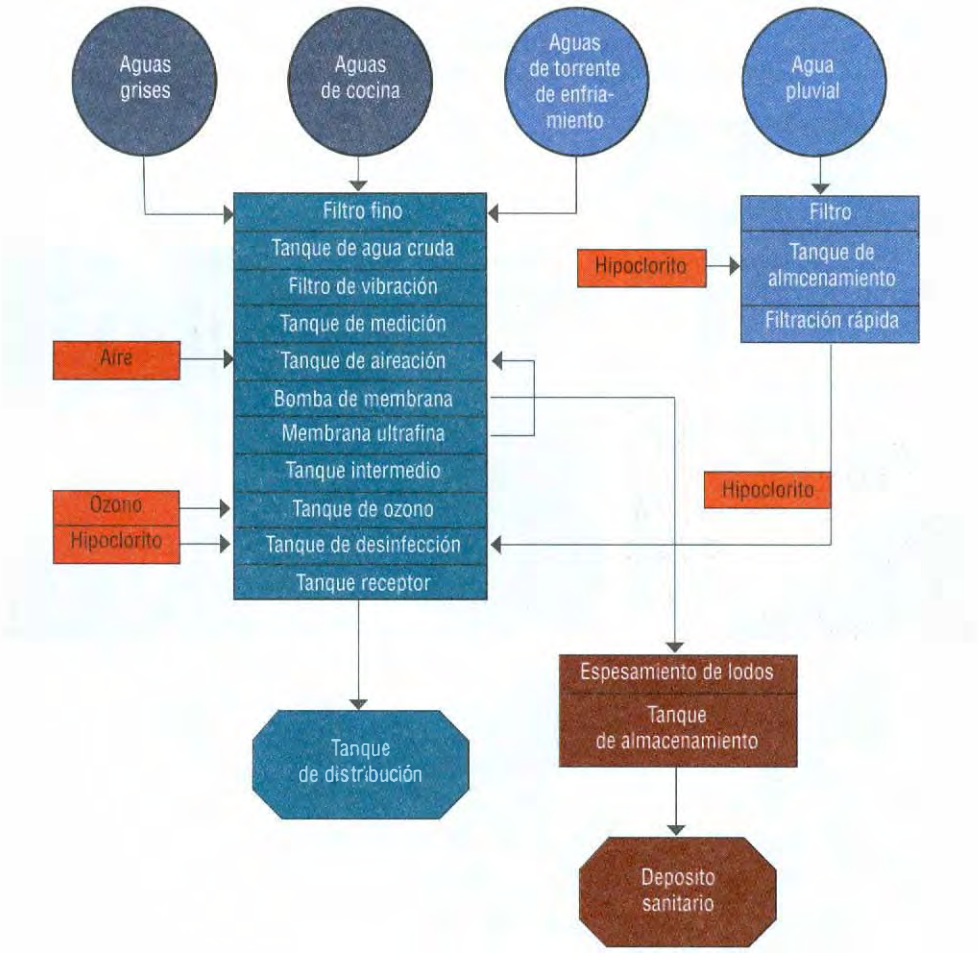
Tabla 51
Características del lugar

Lugar	Tokio metropolitana
Población	12 millones de habitantes
Precipitación anual	1.400 mm
Problemas	Escasez de agua e inundaciones frecuentes
Actividades	Reciclaje de aguas tratadas en plantas municipales de purificación. Reciclaje local de aguas grises en edificios. Uso de aguas pluviales.

Actualmente en la ciudad de Tokio, los edificios con más de 10.000 m² de superficie construida o más de 3.000 m² de superficie de terreno sólo reciben el permiso de construcción si implementan el reciclaje de aguas (BMBF, 2001).

La casa Ohtemachi, en Tokio, es una de las grandes facilidades del reciclaje descentralizado de aguas grises. Recicla en promedio 70 m³ de aguas grises y 6 m³ de aguas pluviales diariamente para el barrido de los inodoros en todo el edificio. (BMBF, 2001).

Figura 152
Esquema de reciclaje de aguas grises y pluviales en la casa Ohtemachi, Tokio



Fuente: Nishibara Environmental Sanitation Research. 2000, citado en BMBF, 2001.

En el año 2001 el Museo Internacional de Aguas Pluviales abrió sus puertas en la ciudad de Sumida, ubicada en el área metropolitana de Tokio, siendo el primer museo de este tipo en el mundo. Sumida-City ganó el primer premio

para su iniciativa ejemplar en el campo del uso de aguas pluviales del Consejo Internacional para Iniciativas Ambientales Locales (ICLEI) en el Congreso Internacional Global Cities 21, del año 2000, además de ser elogiado por su intercambio internacional de información en el tema del uso de las aguas pluviales. Todas las ciudades del área metropolitana de Tokio sufren de escasez de agua y reciben la mayor parte de su agua potable de embalses lejanos, por otro lado, tienen que luchar contra inundaciones frecuentes causadas por las lluvias, que suman 1.400 mm/año. Sumida City es un ejemplo de adaptación japonesa de tecnologías nuevas, es decir, el conocimiento internacional se adapta, se prueba y se desarrolla, orientado directamente a la exportación. (Koenig, 2001a, b).

Figura 153
Edificios con uso de aguas pluviales en Sumida-City

a: edificio de la municipalidad de Sumida-City.
Las aguas pluviales se usan en el lavado del parque automotor
b: filtro de aguas pluviales en el sótano del edificio municipal
c: Kokugikan, coliseo cerrado de Sumo para la Liga Nacional, construido en 1985. Símbolo de Tokio, con uso de aguas pluviales para el barrido de los inodoros.
Fotos: Klaus W. Koenig, Ueberlingen.

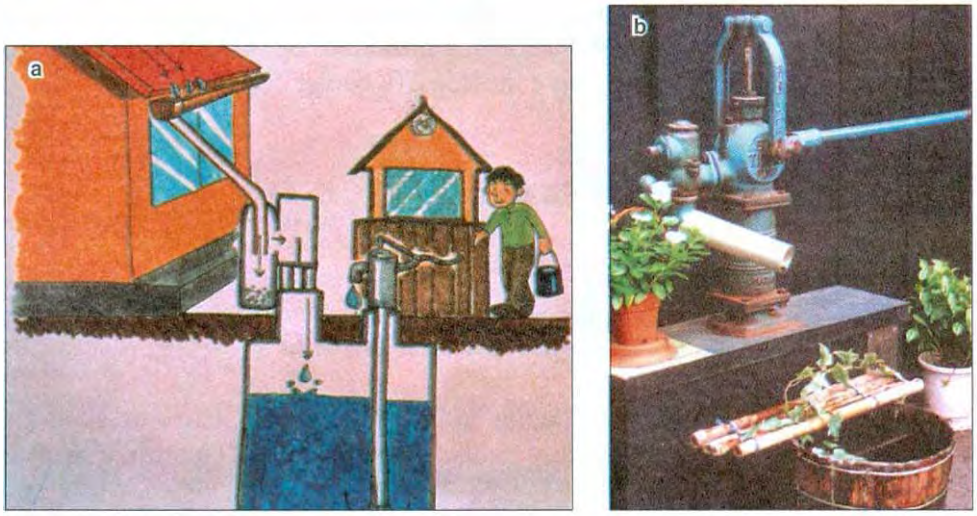
En el edificio de la Alcaldía de Sumida-City (ver fotos figura 153a, b) el agua pluvial se usa para el lavado del parque automotor de la municipalidad, en el coliseo cerrado Kokugikan de los luchadores de Sumo (ver foto figura 153c), el estadio más grande y famoso del Japón, donde juega la liga nacional, el agua pluvial se capta para el barrido de los inodoros (Koenig, 2001b).

Ya en 1994 esta ciudad realizó el congreso internacional más grande sobre el uso de aguas de lluvia. En marzo de 1996 publicó su *Guía de principios del uso de las aguas pluviales*, donde manifiesta:

- La municipalidad construirá sistemas de uso de aguas pluviales en todos los edificios públicos.
- La municipalidad apoyará a los habitantes y empresas en la planificación y la instalación de sistemas si la superficie comprende más de 1.000 m² (Koenig, 2001b).

En los barrios siempre existía el sistema Rojison, un armario en la calle con equipo de seguridad para casos de catástrofe. Rojison significa "respeto al lado de la calle" y es un símbolo de seguridad y protección vecinal. Se cosecha el agua pluvial de los techos de las casas adyacentes en una cisterna subterránea. Cada sistema tiene una bomba a mano y se usa principalmente para emergencias para extinguir fuegos o en caso de terremotos. Es un elemento popular en el área de Mukojima, en Sumida-City. Actualmente se promueve la implementación amplia de los sistemas Rojison en barrios urbanos, sirven para el riego de huertas del barrio y los niños los usan para jugar en el verano (figura 154).

Figura 154
Sistema Rojison en un barrio de Sumida-City



a: esquema del sistema Rojison; b: bomba en la calle. Esquema y foto: Klaus W. Koenig, Ueberlingen

Con este concepto del uso de las aguas pluviales se espera poder evitar la escasez de agua y las inundaciones frecuentes en la ciudad de Tokio.

1.2.5. Uso de aguas pluviales en Corea

La descripción se basa en un artículo de Koenig y sus comunicaciones personales.

La densidad poblacional en Corea es muy alta, poniendo a este país actualmente en el tercer lugar mundial en cuanto a su densidad poblacional.

Los problemas en el manejo de agua son enormes. En el año 2000 el país sufrió inundaciones catastróficas, en 2001 una sequía afectó a 300.000 personas. Varias ciudades y regiones se declararon en emergencia por escasez de agua. Para evitar grandes pérdidas en la agricultura, se usaron los efluentes de plantas de purificación en el riego agrícola. (Koenig, 2003).

En marzo de 2001 se aprobó una nueva ley de manejo de aguas, que regula el uso de las aguas pluviales en proyectos grandes, y además exige el desarrollo de tecnología e investigaciones científicas. Esta ley también tuvo influencia en la construcción de los estadios para los mundiales de fútbol. El Ministerio de Medio Ambiente insistió en la aplicación de medidas de retención e infiltración de aguas pluviales, además de su uso en cuatro estadios de fútbol en construcción, obras que fueron realizadas en la medida que el avance en las edificaciones lo permitía. (Koenig, 2003).

Durante los mundiales de fútbol se comenzó a construir una ciudad modelo para el reciclaje de agua, Sangam-City. El objetivo fue cambiar la conciencia para el manejo del agua. Por este motivo, el uso de aguas pluviales no es opción, sino obligación regulada por la nueva ley. Otra nueva iniciativa ha comenzado con la organización de un gran simposio nacional sobre el uso de las aguas pluviales, organizado por la Universidad Nacional, a principios de 2002, donde se invitó a los expertos internacionales más conocidos. (Koenig, 2003).

2. Países en desarrollo y en transición

2.1. Uso de agua pluvial

2.1.1. Cosecha y uso de aguas pluviales en la India

La descripción se basa principalmente en los estudios del Centro de Ciencias Ecológicas (CSE) de Nueva Delhi y publicaciones de varios científicos de este Centro.

Tabla 52
Datos del país

Región de medidas descentralizadas	Todo el país, variadas ecoregiones
Precipitación anual	50 a 15.000 mm
Problemas	Escasez de agua
Actividades de mitigación	Cosecha de agua pluvial Creación de glaciares artificiales en Ladakh

India tiene un régimen de lluvias estacionales distribuidas de forma muy desigual en el país. Las precipitaciones varían de 100 mm en los desiertos del oeste a 15.000 mm en las faldas del Himalaya. El país siempre ha sufrido de deficiencias de agua y por este motivo la cosecha de las aguas de lluvia son una tradición antigua, en el campo, en los templos y en las ciudades históricas (Pathak, 2001; Koenig, 2001b).

Lastimosamente estos sistemas se han olvidado y derrumbado en su mayoría. El Centro de Ciencias Ecológicas (CSE) en Nueva Delhi trata de recopilar estos conocimientos antiguos y promover su uso con adaptaciones técnicas modernas.

"No existe deficiencia de agua, sino mal manejo", dicen los investigadores del CSE. Este centro de investigación puede presentar pruebas para el increíble éxito de la recolección de aguas de lluvia a escala local. Durante la sequía extrema del año 1999 en Gujarat, muchos pueblos tenían suficiente agua. Estos pueblos habían procurado, por varios métodos, la desviación del escurrimiento de las aguas pluviales mediante diques de control hacia las napas freáticas. De esta manera los escurrimientos entraban a los pozos y cisternas. (Manish Tiwari, 2000).

Actualmente muchas organizaciones gubernamentales, no gubernamentales e internacionales trabajan en la promoción de la cosecha de aguas pluviales (Pathak, 2001), no sólo en el campo, sino también en las ciudades. En la ciudad de Chennai, por ejemplo, la municipalidad exige la instalación de cisternas de agua pluvial para construcciones nuevas de varios pisos (Koenig, 2001b).

En lo que se refiere a proyectos ECOSAN, no se tiene todavía mucho éxito en este país, porque tradicionalmente el manejo de excrementos es tarea de los más pobres y no es aceptado por la sociedad.

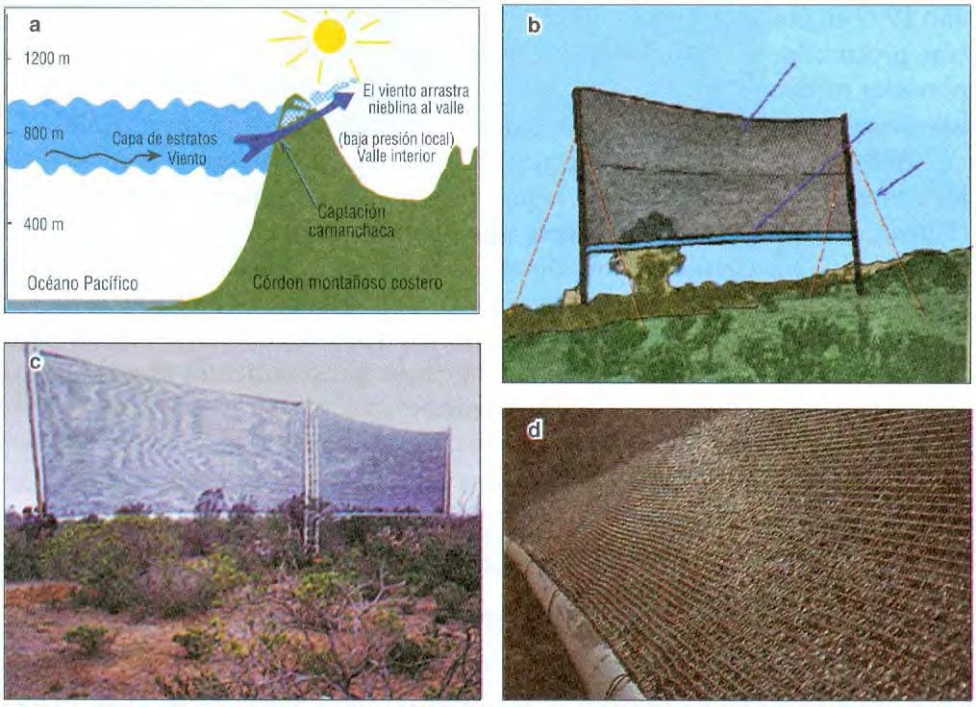
2.1.2. Recolección de agua de neblina en Chungungo, Chile

La descripción se basa en varios websites y autores, entre los cuales Schemenauer y Cereceda son los más importantes.

La neblina consiste en gotitas finas de agua con un diámetro de 1 a 40 µm. Un millón de gotas de neblina forman una gota de agua (Koenig, 2001b). Muchas regiones de la tierra, las costas de los océanos y las montañas altas, tienen muchos días de neblina; pero pocas precipitaciones. En estas zonas los intentos de recolección de niebla como fuente de agua tienen una larga historia, pero fallaron por diversas razones.

En Chile, después de experimentar con varios prototipos de colectores de niebla, se creó en los años 80 una iniciativa entre la Corporación Nacional Forestal (CONAF), la Universidad Católica de Chile y científicos de Environment Canadá, con financiamiento del IDRC (International Development Research Center), en Ottawa, para investigar las condiciones óptimas para la recolección de agua de neblina con grandes redes en el cerro El Tofo, ubicado en las faldas de la cordillera chilena orientadas hacia el Pacífico, alrededor de 500 km al sur de Santiago. El proyecto Camanchaca ("camanchaca" significa neblina costera) se inició en 1987 y en este tiempo era el más grande del mundo. En el área del proyecto caen sólo 60 mm anuales de lluvia, pero se forma niebla en más de 300 días al año. "Las metas del proyecto piloto tuvieron tres frentes: la comprensión de las condiciones meteorológicas y microfísicas convenientes para la colección de agua de niebla; el diseño de un colector operacional de agua de niebla y la construcción de 50 LFC (Large Fog Collectors) para proporcionar agua a una plantación forestal en el cerro El Tofo". (<www.fogquest.org>).

Figura 155
Colectores de niebla en El Tofo



a: formación de neblina de advección en la costa chilena (<www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/ numero2/ articulos/articulo2.html>). b: instalación de colector de niebla (<www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/ numero2/ articulos/articulo2.html>); c: atrapanieblas en el cerro El Tofo (<www.wasserstiftung.de/ wasserprojekte_akt. html>); d: malla de un atrapanieblas (<www.fogquest.org>)

En 1992 se decidió construir un sistema de distribución de agua de niebla desde los colectores en el cerro El Tofo hasta la comunidad de Chungungo, en la costa, incluyendo un sistema de distribución, estanque y red de cañerías de siete kilómetros para la comunidad de aproximadamente 350 habitantes (<www.fogquest.org>).

La colección de agua de niebla reemplazó el agua proveniente de camiones aljibes y el almacenamiento de agua en tambores, permitiendo que el agua llegara a los más de 100 hogares de la comunidad. La colección de agua aumentó con la construcción de hasta 100 LFC en El Tofo. Cada día se colectó un promedio de 15.000 litros de agua potable, la producción máxima diaria registrada excedía 100.000 litros por día. (<www.fogquest.org>).

Los paneles de polipropileno de malla doble, con una superficie de 48 m^2 cada uno, se extendieron entre dos postes. Cada red colectaba aproximadamente 3 litros de agua x m^2 al día, equivalente a una cosecha total de 11.000 litros al día en promedio, que se llevaron a una cisterna de 100.000 litros de volumen. La producción variaba fuertemente según las condiciones climáticas, entre cero en días radiantes y un máximo de 100.000 litros al día. El rendimiento de los paneles era mayor a lo esperado. Antes de la instalación de los colectores de niebla, la cantidad de agua disponible en el pueblo, provisionada por los camiones cisterna, era de 14 litros por persona y día. El volumen colectado por los paneles fue suficiente para cubrir un consumo de 33 litros diarios de los habitantes de la zona. Quien usaba más tenía que pagar tarifas mucho más altas. El sistema se administraba por el municipio y un Comité de Agua Potable Rural, y recuperaba su inversión por las tarifas de agua. Esa forma de abastecimiento resultó más económica y más sana que la compra de agua de los camiones. Además ha creado fuentes de trabajo y mejorado la alimentación por el uso del agua en el riego de huertas. (<www.irc.nl>, Schemenauer & Cereceda, 1994).

"A su vez, el sitio de los LFC en El Tofo fue utilizado para enseñar a personas de Sudamérica y África interesadas en conocer más sobre la ciencia detrás de la colección de agua de niebla y la construcción de los colectores" (<www.fogquest.org>).

El sistema de recolección estuvo en operación por más de 10 años, abasteciendo un pueblo desértico con más de 500 habitantes. La comunidad creció de 300 a 600 residentes permanentes y en verano alcanzaba una población de varios miles, por el turismo (<www.fogquest.org>). El incremento rápido de la población en la comunidad causó otra vez escasez de agua. La cantidad de captanieblas resultó insuficiente para la provisión de todos. A esta situación se sumó el hecho de periodos sin neblina, así que los pobladores percibían la neblina como fuente de agua no confiable. Dejaron de realizar un mantenimiento adecuado de las redes, con el resultado de que en 2003 ya no existía ninguna red en funcionamiento y nuevamente el pueblo de Chungungo debe ser provisto de agua por un camión aljibe a un alto costo. (<www.fogquest.org>).

En resumen, se puede decir que la tecnología ha probado su validez, aunque finalmente la población de Chungungo no ha sido capaz de mantener el sistema.

La tecnología desarrollada en el proyecto piloto de Camanchaca se ha distribuido no sólo en Chile, sino también en otros países latinoamericanos y en otros continentes. Actualmente, la tecnología se aplica en varios países alrededor del mundo. Existen proyectos en Chile, Perú, Ecuador, México, Guatemala, Israel, Yemen, Bangladesh, Nepal, Sudáfrica, en las Islas de Cabo Verde y en la Isla de la Reunión (Eugster & Burkard, 2003).

Figura 156
Distribución de zonas con buenas condiciones de colección de neblina en Europa y África

Fuente: <www.pbs.org/pov/pov2004/thirst/special_harvesting_02.html>.

Tabla 53
Producción de aguas de neblina en diferentes países

	Producción promedio de agua	Duración de tiempo de neblina	Producción anual de agua de neblina
	l/m²/día	días por año	l/m²/año
Chile	1,1 a 8,5* (promedio 3)	365	1.095
Perú	9	210	1.890
Oman	30	75	2.250
Namibia	3**		
Sudáfrica	7**		
General	17 - 42***		

* Cereceda *et al.*, 2002: la cantidad depende de la ubicación de los colectores. Los colectores cerca de la costa tienen mayor rendimiento.
** Shanyengana *et al.*, 2003.
*** Eugster & Burkhard, 2003, valores parecen demasiado altos.
Fuente: Schemenauer & Cereceda, 1994.

Los valores de la tabla muestran que las cantidades colectadas difieren mucho en los lugares diferentes, pero en cada caso ofrecen grandes posibilidades de provisión de agua en zonas desérticas, no sólo para consumo humano, sino también para fines agrícolas y forestales.

Generalmente se usan redes de 48 m^2 en la colección de agua de neblina. Estas redes se fabrican de una malla de polipropileno de doble lámina con un coeficiente de sombra de 35%, la malla Raschel. (Shanyengana *et al.*, 2003).

Como este tipo de malla no es accesible en el mercado de muchos países, se realizaron estudios para reemplazar éstas por redes poliméricos de sombra para invernaderos. Se investigaron redes de sombra de aluminet, que se fabrica a partir de fibra de polietileno de alta densidad (HDPE). Las fibras están recubiertas con aluminio para aumentar su reflectividad. Esta malla se consigue en dos calidades, aluminet O para exteriores y aluminet I para interiores, y con distintos coeficientes de sombra. Para la colecta de neblina el aluminet I para interiores (coeficiente de sombra 40%) resultó más eficiente, por el escurrimiento vertical del agua en sus fibras mayormente verticales. Recolecta aproximadamente 96% (rango 50 a 164%) de una malla Raschel. Velocidades bajas de viento aumentan sustancialmente su eficiencia de recolección. (Shanyengana *et al.*, 2003).

2.2. Proyectos sanitarios ecológicos (ECOSAN)

2.2.1. África

En general, en comparación con los pueblos asiáticos, los pueblos africanos son coprófobos, así que los métodos ECOSAN no se adoptan fácilmente. La higiene anal con el uso de agua es otro factor que se tiene que tomar en cuenta en la promoción de las técnicas sanitarias ecológicas.

A pesar de estas dificultades se han realizado varios proyectos ECOSAN en este continente desde 1997, con diferentes enfoques, de los cuales se ejemplifican algunos en los siguientes capítulos. Especialmente en Sudáfrica se introdujo con éxito varios modelos de sanitarios con compostaje, existiendo proveedores y promotores. Los retretes ECOSAN de tipo inodoro separador de deshidratación se aceptaron principalmente por cumplir con los requerimientos de la población acerca de privacidad, dignidad, seguridad y comodidad, menos por su mejoramiento en higiene y salud. Aunque el mantenimiento es más trabajoso que en una letrina, la gente aprecia el hecho de que el retrete ECOSAN es de estructura permanente, se puede incluir a la casa por ausencia de olores y no se tiene que mover de lugar una vez lleno. Estos beneficios contaron más que la inconveniencia de manejar la excreta seca y líquida. Todavía no existe una cultura de reusar los productos. (Wirbelauer *et al.*, 2004; <www.gtz.de/ecosan/download/documentation-ecosan-SA.pdf>).

La respuesta a diferentes soluciones técnicas varía significativamente entre países y en especial entre zonas rurales, periurbanas y urbanas. Obviamente, el reciclaje de los productos como abono tiene mucha menor importancia en los centros urbanos, mientras la población rural lo aprecia. Si los proyectos de saneamiento se promueven por los gobiernos para mejorar la salud, por ejemplo en Sudáfrica, generalmente no se toma en cuenta el cierre de los ciclos de agua y nutrientes. Los gobiernos reaccionan en situaciones críticas que requieren de una solución rápida y donde la promoción de métodos para cerrar los ciclos necesita demasiado tiempo. Si los proyectos son guiados y financiados externamente, pueden ser inestables y fallar en el momento cuando el aporte financiero e institucional se retira. (Wirbelauer *et al.*, 2004).

Retretes de separación y huertas de aguas grises en Malí

La descripción se basa principalmente en el website de la Agencia de Cooperación Técnica Internacional de Alemania (GTZ) y las publicaciones de Bark *et al.* (2004) y Werner *et al.* (2003, 2004a), además de sus comunicaciones personales.

En la pequeña ciudad de Koulikoro, cerca de la capital de Malí sobre el río Niger, se lleva a cabo un proyecto piloto de la Agencia de Cooperación Técnica Internacional de Alemania (GTZ), con varios colaboradores internacionales y nacionales. La ciudad, de 26.000 habitantes, está situada en la zona del Sahel, con un clima semiárido y estaciones de lluvia y sequía acentuadas. Como en toda la zona del Sahel, aparte del clima, la población sufre de suelos degradados. (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

Los habitantes de la ciudad tienen un abastecimiento de agua potable, pero no existe un sistema de evacuación de aguas servidas. Por el mejoramiento de los sistemas de agua potable, el consumo y la cantidad de aguas servidas aumentan, con las consecuencias higiénicas correspondientes. Flujos abiertos de aguas servidas en las calles exponen a todos, y especialmente a los niños, a enfermedades potenciales. Koulikoro no tiene medios suficientes para implementar una red de alcantarillado ni una planta de tratamiento. (Bark *et al.*, 2004, <www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

Los terrenos privados amurallados generalmente tienen una superficie de 15 a 20 m por 25 m y son usados por un promedio de diez personas. Los terrenos agrícolas de cultivo en seco se encuentran fuera de la ciudad. (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

Tradicionalmente se usan lozas sanitarias para acuclillarse (baños turcos), combinadas con duchas. La orina en gran parte fluye sobre el piso de los baños y se lava junto con las aguas de ducha y el agua usada en la higiene anal. Las heces caen separadamente a un depósito de tipo letrina. La humedad se infiltra en el suelo y la masa fecal se seca. Cuando el depósito de la letrina está lleno, se reemplaza por otro hoyo o se vacía manualmente. Las heces se depositan en la

calle, para su secado final, luego se usan en la agricultura. Los drenajes fecales causan la contaminación de las aguas subterráneas, el manejo de las heces es altamente riesgoso y en la calle constituyen focos importantes de enfermedades. (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

Las aguas grises junto con la orina se evacuan hacia la calle, lo que significa otro problema de salud. Existen a veces pozos sépticos para recibir esta agua .(<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

El concepto ECOSAN en este caso se basa en el sistema conocido de letrinas con separación de orina. Se ha optado por combinar el tratamiento de las aguas grises con las costumbres de higiene anal húmeda. Así se desarrolló un sistema sanitario que no requería cambios esenciales en las costumbres de la gente. Se implementaron once sistemas completos. (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

La solución técnica contiene los siguientes elementos (según Bark *et al.*, 2004):

- Colección separada de heces en letrinas desecadoras, incluyendo un sistema de drenaje para el agua usada en la higiene anal.
  - Las heces secas se usan como fertilizante en la agricultura.
- Colección separada de orina y su uso
  - Como fertilizante líquido.
  - Como fertilizante en forma deshidratada.
  - Para enriquecer el compost.
- Separación de aguas grises
  - Para riego de plantas y humidificación de los patios.
  - Para riego directo de huertas de legumbres.
- Ensayos de uso de los abonos generados en los terrenos agrícolas para sorgo y algodón, para estudiar la capacidad fertilizante de diferentes tipos de desechos y aguas servidas, en el Instituto Politécnico para Estudios Económicos en Koulikoro.

Se implementaron sanitarios de separación de orina con doble cámara para la deshidratación de las heces. La ceniza de los fuegos a leña se utiliza como aditivo a las heces, acelerando su desecado. Los depósitos tienen un tubo de aireación y una apertura de inspección orientada hacia el sur, cerrada con una tapa metálica pintada de negro para calentar la masa fecal y ayudar a su desecación. Algún agua excedente, por ejemplo por la entrada accidental de agua de higiene anal, se desvía por un tubo hacia una cámara de evaporación llena de grava y tierra para evitar el contacto con estas aguas contaminadas. Las cámaras de evaporación se plantan con vegetación adecuada para acelerar la evapotranspiración. Después de un año de reposo, las heces están secas, higiénicas y aptas para su almacenaje seguro. (Bark *et al.*, 2004; <www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

La orina se lleva por canaletas abiertas o tubos hacia un contenedor. La experiencia muestra que el uso de un tubo, en vez de los canales abiertos, es recomendable; aunque es más difícil de limpiar. En todo caso se debe evitar la dilución de la orina. Actualmente, la mejor forma de usar la orina es enriquecer la pila de compost en el jardín con nutrientes porque los desechos orgánicos de las viviendas tienen déficit de nutrientes, en especial nitrógeno. En pocos casos la orina se aplica directamente como fertilizante líquido. (Bark *et al.*, 2004; <www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

El agua usada en la higiene anal húmeda se mezcla con las aguas grises de las duchas y se drena. Esta mezcla de aguas servidas se puede infiltrar sin darle uso agrícola, luego de pasar un filtro de grava y arena, pero se ha comprobado que la construcción de un filtro adecuado es más cara que la construcción de una huerta de aguas grises. En este caso, las aguas se introducen de forma subterránea a una huerta de plantas comestibles sobre sustrato de grava para garantizar la permeabilidad del terreno y el suministro continuo de las raíces con agua y nutrientes. Para introducir el agua, cargada con detergentes y fibras, y con la

Figura 157
Sistema ECOSAN en Malí

a: inodoro separador; b: depósitos de heces; c: instalaciones sanitarias y huerta de aguas grises; d: huerta de aguas grises. Fuente: Werner et al., 2003.

arena y el polvo transportados con los pies y por el viento al sistema de riego, es necesaria la retención de los sólidos. Por este motivo, las aguas grises primero se decantan y se filtran. Después de este pretratamiento entran a las huertas por tubos subterráneos con agujeros. La entrada subterránea evita el contacto de las aguas contaminadas con la gente, con las partes aéreas de las plantas y asegura la eliminación higiénica de las aguas servidas. Sólo se deben cultivar plantas con frutos aéreos. Para airear el suelo se introducen "tubos de respiración". (Bark *et al.*, 2004; <www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>)

La mezcla de heces secas con orina líquida, con compost de jardín y desechos de cocina es semejante, en su contenido de nutrientes, a un fertilizante químico. Una persona produce abono para 400 a 550 m^2 de terreno agrícola (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

Como no toda la gente tiene suficiente terreno para aplicar la orina, se realizaron ensayos de secado de la orina para su venta a los agricultores vecinos. Esto puede ser económicamente interesante para microempresas privadas. Los ensayos usaron la radiación solar en el secado y lograron 9 g de polvo de un litro de orina, en un tiempo de secado de dos días (Bark *et al.*, 2004).

Existen dos posibilidades de manejo de los sistemas ECOSAN: por los usuarios mismos en forma privada, con uso propio del abono y de las aguas grises, o por microempresas que se benefician con el pago por el manejo de los sistemas privados y la venta del producto. La aceptación de los sistemas implementados es alta.

Lastimosamente se tuvo varios problemas con las instalaciones. Por un lado, los usuarios han dejado de cultivar plantas durante la época seca porque observaban el suelo superficialmente seco y no se imaginaban que existía agua disponible para las plantas en capas más profundas, por la entrada subterránea de las aguas grises. Por otro lado, se rompieron las mallas de desagüe de las duchas, las cuales se sacaron y no se sustituyeron. Paulatinamente el filtro de grava se taponeó y las huertas ya no recibieron suficiente agua. Estas experiencias muestran la importancia de la educación de la gente y del seguimiento cercano de los proyectos para poder reaccionar frente a problemas imprevistos. (Bark *et al.*, 2004; Werner, 2003, com. pers.).

Una comparación de costos de inversión y mantenimiento entre sistemas convencionales y ECOSAN muestra que un sistema tradicional de aguas servidas con red de alcantarillado, en el caso de Koulikoro sobre suelo parcialmente rocoso, más la implementación de lagunas de estabilización, hubiera costado aproximadamente 24 millones € en la implementación y 138.000 € anualmente para su mantenimiento. La inversión para sistemas ECOSAN descentralizados se estima en 2,7 millones € y aproximadamente 10.000 € al año para su mantenimiento. Tomando en cuenta que los usuarios generalmente mantienen el sistema con mano de obra propia no se debería introducir los rubros operación y mantenimiento a la contabilidad. En comparación, el presupuesto comunal

anual de Koulikoro es de sólo 200.000 € y la ganancia mensual promedio de una familia es de 100 €. (Bark *et al.*, 2004; <www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

En el año 2002, el Departamento de Desechos Sólidos y Líquidos del Ministerio de Medio Ambiente de Malí integró las huertas de aguas grises y los inodoros separadores en su programa. Actualmente el Departamento, junto con la GTZ (Cooperación Técnica Alemana), estudia su aptitud para una introducción amplia. Se planifica introducir el programa en una segunda región, en 19 áreas urbanas densamente pobladas, con 2.000 a 130.000 habitantes. (Werner *et al.*, 2004a).

Epuvalización en Senegal

El término epuvalización se deriva de dos palabras francesas, *épu*ration (= purificación) y *val*orisation (= valorización).

La descripción se basa en varias publicaciones de Werner *et al.*, y Xanthoulis *et al.*

La epuvalización es una técnica de tratamiento biológico de aguas servidas mediante cultivos hidropónicos. El agua fluye por canales donde crecen plantas con raíces desnudas. El sistema puede ser abierto, con un solo pasaje de las aguas servidas por los canales plantados, o cerrado, con recirculación de las aguas. Los canales tienen un ancho de 50 cm, una profundidad de 90 cm y su longitud depende de la calidad de las aguas a tratar. Las plantas incorporan nitratos y fosfatos como nutrientes para su proceso de crecimiento, y las raíces actúan como filtro físico para la materia en suspensión y como superficie de desarrollo de una abundante flora de bacterias descomponedoras. De esta manera se forma un filtro de raíces, semejante a un filtro de goteo (*trickling filter*), de crecimiento continuo. Puede ser usado en la purificación de distintos tipos de aguas servidas, aguas negras, aguas grises y aguas industriales no tóxicas. Una de las características de la técnica es la aireación considerable del líquido por el sistema de aerénquima de las plantas. El líquido a tratar es la única fuente de nutrientes de éstas. Este sistema tiene varias ventajas en relación a las lagunas de estabilización: corto tiempo de retención, entre una y varias horas; y economía en espacio, así que se puede implementar el sistema también en invernaderos. El crecimiento de las raíces y la acumulación de materia depositada llevan a la colmatación de los canales con rebalse de aguas, de modo que las plantas tienen que ser reemplazadas después de tres a cuatro meses de crecimiento. Las especies se seleccionan en base a su adaptación al cultivo hidropónico: raíces finas sin raíz profunda, multiplicación fácil por sembrado y propagación por esquejes u otros métodos para asegurar el reemplazo de las plantas. Una longitud de 12 m en círculo cerrado y 50 m en circuito abierto purifican aproximadamente 500 litros de aguas servidas por hora, lo que significa 12 m^3 al día o las aguas servidas

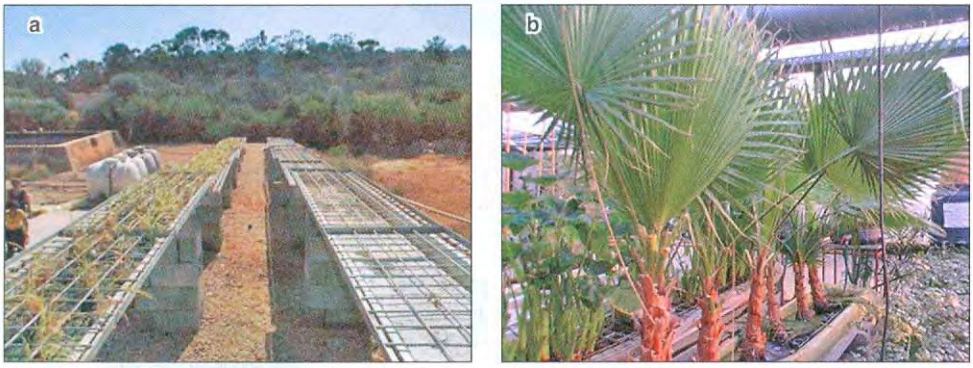
provenientes de 70 a 80 personas, en tratamiento terciario. La mayor capacidad de purificación ocurre en los primeros 20 m. (Xanthoulis *et al.*, 2004a, b).

La construcción de los canales es fácil, se efectúa en láminas de metal cubiertas de pintura epóxica resistente a agentes agresivos, con elementos ondulados de estabilización a lo largo del canal. La reducción de sustancias es mejor en ciclo cerrado. Con ese sistema se obtiene agua apta para su evacuación a cuerpos receptores o uso para riego. (Xanthoulis *et al.*, 2004b).

No sólo se logra buena calidad de las aguas tratadas, sino también se obtiene varios productos a partir de las plantas usadas en el proceso de purificación, por ejemplo forraje, semillas, biomasa para compostaje y/o plantas ornamentales (Xanthoulis *et al.*, 2004b).

En el proyecto de Senegal, las aguas grises se usan para el cultivo hidropónico de plantas ornamentales. El agua, luego de la sedimentación de sólidos, se dirige a canales construidos encima del suelo, donde fluye por la rizósfera de varias especies de plantas. El contacto de las plantas con las aguas servidas, en este caso, no trae problemas higiénicos, por no tratarse de plantas comestibles. La cantidad de agua es suficiente y el contenido de nutrientes adecuado para realizar un cultivo hidropónico. (Werner *et al.*, 2004a).

Figura 158
Cultivos hidropónicos de plantas ornamentales en Senegal



Fuente: Werner *et al.*, 2003.

Producción de biogás en Lesotho

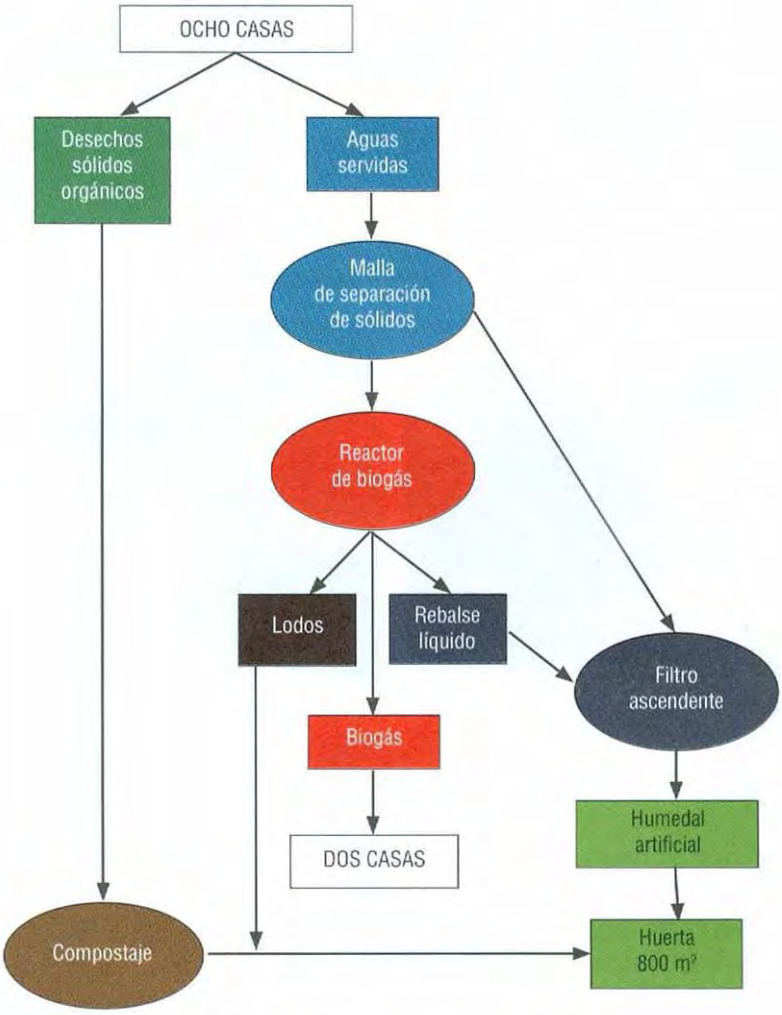
La descripción se basa en publicaciones de Kellner & Leuta, 2004 y Werner *et al.*, 2004a.

Lesotho es un pequeño país pobre al sur de África, con alrededor de 2,2 millones de habitantes, la mayoría vive en el campo.

En la capital Maseru se ha detectado que la contaminación de las aguas subterráneas y las aguas del lago se origina principalmente en las letrinas y rebalses

de los tanques sépticos en el área de la ciudad. La evacuación de los lodos de los tanques sépticos es un gran problema para los propietarios, especialmente por su costo (Kellner & Leuta, 2004). Sólo un área pequeña de la ciudad está conectada a un sistema de alcantarillado y una planta de purificación de aguas servidas. El sistema de alcantarillado tiene poca carga y la mitad de las aguas del área conectada no llega a la planta de purificación, por el no funcionamiento de las estaciones de bombeo, que no trabajan hace varios años a causa de los altos costos de operación y dificultades técnicas. Las aguas no tratadas entran a un río. (Werner *et al.*, 2004a).

Figura 159
Esquema del sistema ECOSAN



Esquema basado en Kellner & Leuta, 2004 y Werner *et al.*, 2004a.

El primer sistema ECOSAN implementado como proyecto piloto de demostración sanea las aguas de ocho casas con aproximadamente 40 personas. Se ha instalado una malla recolectora de sólidos, una unidad de biogás, un filtro ascendente en base a botellas plásticas recicladas, un humedal artificial para el tratamiento secundario de las aguas servidas y una huerta de 800 m² regada con el agua tratada. El biogás se usa en las cocinas de dos de las casas. Los desechos orgánicos sólidos se recolectan y se descomponen por un proceso de compostaje. En oposición a la agricultura en secano que depende de la lluvia, en este caso se puede cultivar durante todo el año, con rendimientos más altos en cantidad y calidad. (Werner *et al.*, 2004a).

Figura 160
Elementos del manejo de aguas

a: construcción del sistema de desagüe y biogás
b: sistema de riego con aguas servidas purificadas
Fuente: Werner *et al.*, 2003.

Actualmente, el sistema se difunde a las casas vecinas por demanda de sus habitantes. El proyecto se usa para el entrenamiento de constructores privados e ingenieros, incluso de otros países como Sudáfrica. Hasta enero de 2003 se instalaron tres sistemas completos y cuatro sistemas estaban en construcción. (Kellner & Leuta, 2004; Werner *et al.*, 2004a).

Los pasos siguientes planificados son la separación de los flujos segregados de aguas negras y aguas grises, y la introducción de la separación de orina (Werner *et al.*, 2004a).

Humificación de lodos de depuración en Egipto

La descripción se basa en la publicación de Pabsch *et al.*, 2004 y el website de la Agencia de Cooperación Técnica Internacional de Alemania (GTZ).

La mayoría de las ciudades en Egipto tratan las aguas servidas municipales con métodos tecnológicos convencionales. Los lodos generados en el proceso de purificación se drenan, se espesan y se secan. De esta manera se producen grandes cantidades de lodos secados de mala calidad para su uso en la agricultura, con precios mínimos en el mercado y poca demanda.

Para poder ofrecer lodos de depuración en el mercado y lograr una alta aceptación por los usuarios, se tienen que cumplir varios requerimientos:

- El manejo seguro durante las operaciones y el transporte.
- Mínimos riesgos de salud para el agricultor.
- Aplicabilidad eficiente y simple en la agricultura.
- Alto valor como fertilizante.
- Calidad físico-química alta (altos contenidos en nutrientes NPK, micronutrientes como Mn, Fe, Zn, mínimas cantidades de sales, como cloruros y sulfatos y metales pesados casi ausentes), higiene (ausencia de patógenos), estructura (buena estructura grumosa) y estética (olor, color y consistencia agradables).

Se implementaron dos proyectos de reciclaje de lodos provenientes de plantas de purificación de aguas servidas municipales en diferentes zonas climáticas, en Nawag y en El Minia. Se probaron dos especies de plantas para apoyar al proceso de desecación, *Phragmites australis*, una gramínea acuática emergente de gran porte y una altura de hasta más de 3 m y un pasto del género *Lolium*. Las raíces de las plantas extraen el agua de los lodos y las plantas la evaporan. Por otro lado, las plantas mejoran la estructura de los suelos, los oxigenan por su sistema de aerénquima y favorecen el crecimiento de la microflora y la edafofauna en el sustrato. Esa combinación de flora y fauna genera un ambiente semejante a los procesos de compostaje, evita la formación de costras duras en la superficie y favorece la estructura grumosa de la masa.

Tabla 54
Calidad de los productos de humificación generados en Egipto, comparada con la calidad de los lodos secados de manera convencional

Producto secado	Producto humificado con plantas
Estructura muestra grandes trozos.	Estructura grumosa, semejante a suelo, penetrado por raíces.
Color negro grisáceo.	Color mayormente café.
Desarrollo de olores fecales después de humidificación.	Sólo olor a suelo.
Lodos atraen moscas, larvas y hormigas.	No hay problemas con fauna indeseada.

Basado en Pabsch *et al.*, 2004

Los procedimientos de humificación y mejoramiento de lodos se usaron con éxito en Europa central, pero en Egipto se experimentaron diferencias a causa del clima semiárido.

El pasto necesita riego diario por la falta de humedad, para lo cual se debe instalar un sistema de riego por aspersión o por inundación. Se usan las aguas de drenaje de los lodos o las aguas del proceso de espesamiento.

Phragmites no necesita un riego regular, por este motivo no es necesaria una costosa instalación de riego. Requiere de agua adicional sólo en la fase de cultivo e inundaciones temporales durante sequías. Pero *Phragmites* es sensible a sobrecargas. Se debe tener cuidado durante la descarga de lodos en los estanques de secado, la capa no debe exceder los 20 cm de espesor.

Tabla 55
Ventajas y desventajas del uso de las dos especies distintas

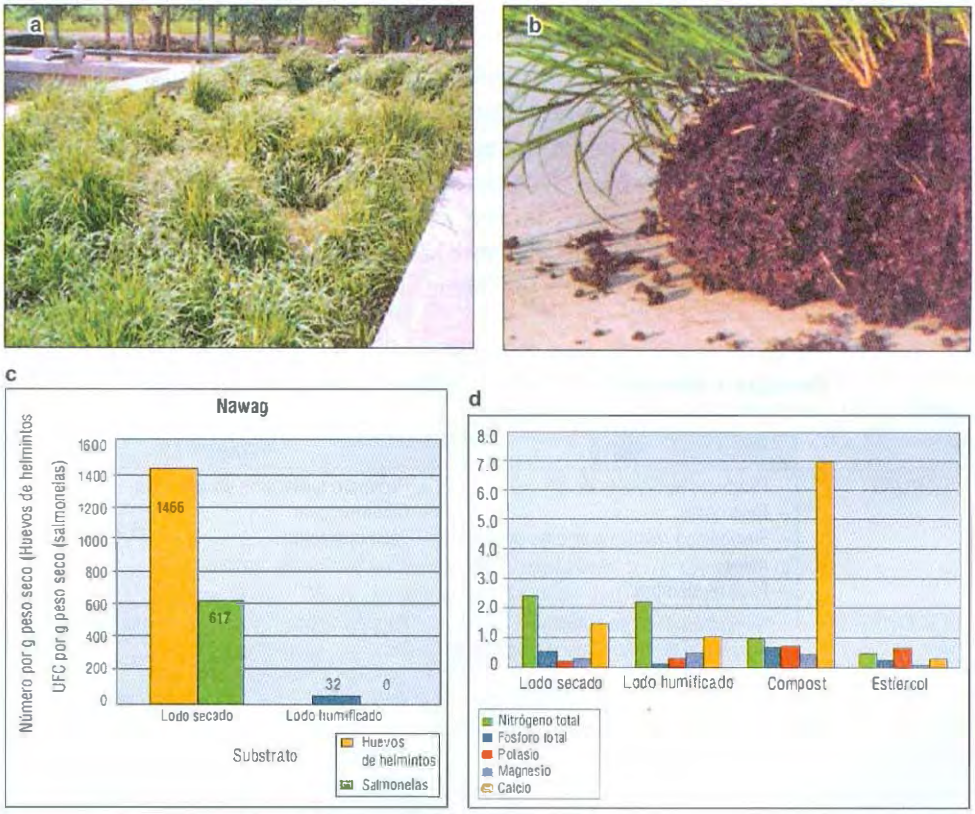
	PASTO	*PHRAGMITES*
VENTAJAS	– Producto fertilizante de alto valor – Bajo costo – Flexibilidad relativa a errores operacionales – Fácil re-siembra	– Producto fertilizante de alto valor – Mínimo costo – Fácil operación
DESVENTAJAS	– Necesidad de riego continuo – Necesidad de control diario y operación diaria – Necesita más tiempo de operación – Necesita más inversiones	– Baja flexibilidad relativa a errores operacionales – Sensible a sobrecarga con lodos – *Phragmites* puede ser afectado por plagas – Replante de los estanques cuesta más trabajo y tiempo, y es más difícil que la siembra del pasto – Presencia de rizomas en el producto final puede causar crecimiento de Phragmites en los campos agrícolas como mala hierba, después de la aplicación de los lodos

Basado en <www.gtz.de/ecosan/download/IPP-Aegypten.pdf>.

Los autores recomiendan el uso del pasto, aunque la implementación del sistema de riego aumenta los costos de inversión y mantenimiento.

En ambos casos se obtenía un producto final de muy buena calidad, con morfología semejante a suelo humoso, estructurado por las partes de plantas descompuestas, con color café y olor agradable, con pH neutro, alto contenido de materia orgánica y macronutrientes (NPK), contenido considerable de micronutrientes (Zn y Fe), buena capacidad de almacenamiento de agua y cantidades mínimas de metales pesados. Relativo a la higiene, no contenía ni salmonelas ni huevos de helmintos y muy pocos coliformes fecales después de dos meses de tratamiento. En comparación, los lodos secados al sol, después de cuatro meses, todavía contenían altas cantidades de salmonelas y huevos de helmintos.

Figura 161
Humificación de lodos de depuración



a: estanque de humificación con pasto; b: pasto con lodo humificado; c: cantidad de huevos de helmintos y salmonelas en lodo secado y lodo humificado; d: contenido de nutrientes en comparación con otros abonos naturales. Fuentes: GTZ, 2002; Werner *et al.*, 2003; Pabsch *et al.*, 2004.

2.2.2. *Asia*

En su mayoría los pueblos asiáticos usan tradicionalmente excrementos humanos en la agricultura. Así, la introducción de modernos métodos de saneamiento ecológico no se encuentra con obstáculos.

Sanitarios ecológicos en China

En la descripción se usaron varias fuentes bibliográficas que se citan en el texto.

El país tiene grandes problemas de disponibilidad de agua. Más de 300 ciudades tienen escasez de agua y más de 50 ciudades con una población mayor a un millón de habitantes tienen actualmente serios problemas de escasez de agua (Gui *et al.*, 2004).

En China todos los procesos innovadores se llevan a cabo con alta rapidez. Eso también se observa en la implementación de proyectos de manejo de aguas pluviales y los sistemas ECOSAN.

En este país, desde hace más de 2.000 años, se usan tradicionalmente heces humanas frescas en la fertilización de los suelos. Hoy en día se reciclan todavía más de 90% de los excrementos humanos en la agricultura. Los campesinos recolectan el "suelo nocturno" de las letrinas de las poblaciones cercanas y lo distribuyen en sus huertas y campos agrícolas junto con el abono originado por los animales domésticos. La implementación de sanitarios con tanque de agua y redes de alcantarillado les quita su fuente de abono barato y les obliga a recurrir a fertilizantes químicos caros. El uso de excrementos humanos en la agricultura bajó a menos del 30% de abono total usado (Qingkui *et al.*, 2000, citado en Xiangyun & Hai, 2004). Por otro lado, el uso de las heces frescas en forma de "suelo nocturno" trae problemas higiénicos y alta prevalencia de enfermedades intestinales, por este motivo durante los últimos años se promueven y se implementan más proyectos ECOSAN. Este procedimiento ofrece un abono higiénicamente seguro basándose en las técnicas tradicionales. (Winblad, 2001; <www.ecocity-programme.org/newssan.htm>, Xianghong & Jiang, 2004; Black, 2002).

Adicionalmente, el gobierno chino incentiva medidas de conservación que incluyen el ahorro directo de agua mediante artefactos y equipos de bajo consumo, uso de aguas grises, reciclaje de aguas de proceso en las industrias, cosecha de aguas pluviales y otros procedimientos (<www.ecocity-programme.org/newssan.htm>).

En los últimos 20 años se implementaron más de 8 millones de digestores de biogás a nivel de vivienda y 800 grandes facilidades de biogás. Aunque la motivación para la digestión anaeróbica en casa es el acceso a energía sin costo, también contribuye a un manejo higiénico de las excretas y la protección ambiental. (Winblad, 2001; Black, 2002).

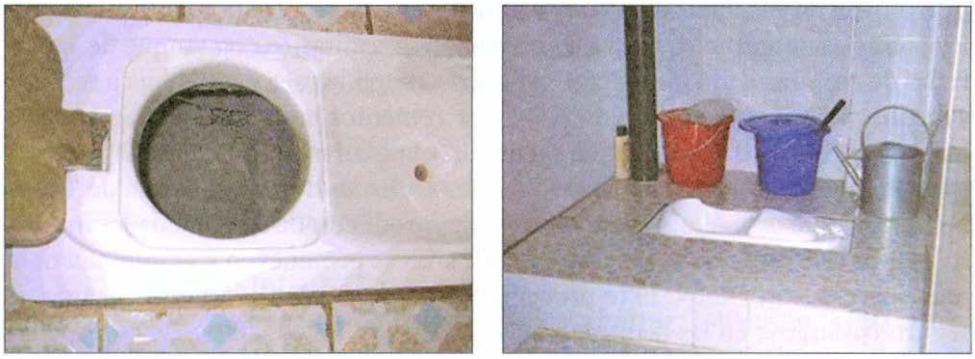
Inodoros desecadores ECOSAN con separación de orina significan una creación nueva en China, a partir de las costumbres tradicionales. Se importaron en 1997 de Suecia y se implementaron en la provincia de Guangxi desde 1998. Hasta el año 2001 ya se habían construido más de 24.500 sanitarios ecológicos. Ya no dependen de proyectos, sino su multiplicación se volvió autónoma. Su gran ventaja es la flexibilidad de implementación en lo que se refiere al costo. Existen modelos simples muy económicos y modelos más lujosos. Otra ventaja es la posibilidad de introducir este sanitario en el interior de la casa. (Xianghong & Jiang, 2004, Black, 2002).

Jiang (2002) subraya la importancia de integrar los sanitarios modelo en la casa para crear esa costumbre desde el principio, porque los sanitarios exteriores son más incómodos en su uso y más costosos en su construcción.

En pocos años se formaron muchas microempresas de producción de inodoros separadores de alta calidad, generalmente baños turcos, en diferentes partes del país. En el mercado chino existen inodoros de plástico, de fibra de vidrio

y de cerámica, con precios entre 5 y 10 $us, y se exportan a países vecinos. La entrada para las heces tiene una tapa que se remueve con el pie para no entrar en contacto manual. Además se desarrolló, para los colegios, un contenedor de ceniza igualmente manejable con el pie. (Winblad, 2002).

Figura 162
Inodoros separadores de orina, fabricados y patentados en China



Fuente: Werner *et al*, 2003.

Para finales de 2002, en la provincia Guangxi se completaron más de 100.000 unidades de inodoros separadores de deshidratación (Xianghong & Jiang, 2004).

Sin duda, el programa ECOSAN en la provincia rural de Guangxi es el mejor en el mundo. Y lo que es más importante, el programa se está distribuyendo por su propia dinámica, basándose en el interés espontáneo de los campesinos. (Winblad, 2001).

En el departamento Yongning se desarrollaron retretes ECOSAN en combinación con digestores de biogás y se crearon pueblos ecológicos como modelo de poblaciones humanas sostenibles en las áreas rurales. Desde el principio, estos pueblos ecológicos tienen éxito entre los habitantes de la zona y ahora se crearon más de 200 pueblos ECOSAN en Guangxi, con más de 10.000 familias beneficiadas. (Xianghong & Jiang, 2004).

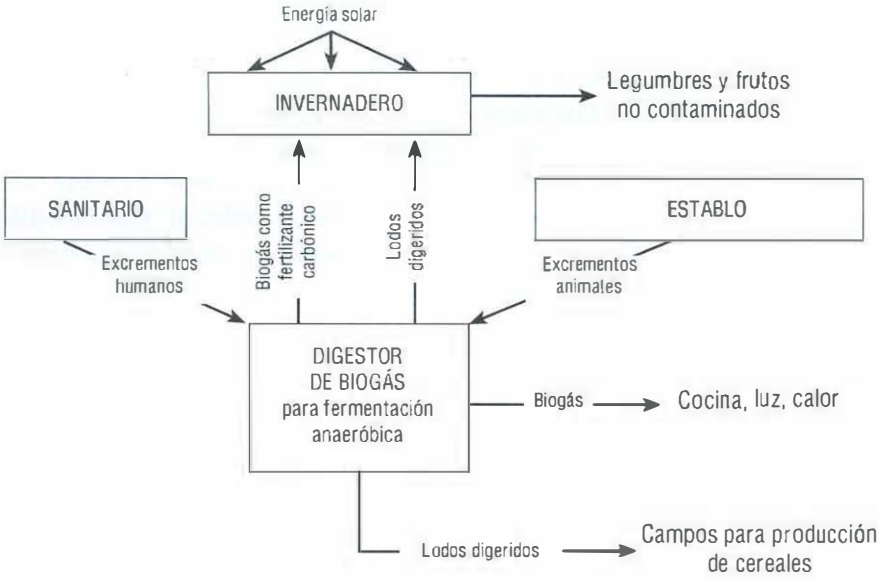
Se desarrollaron tres modelos para cerrar los ciclos, en tres diferentes zonas climáticas del país: El modelo "Cuatro en Uno", en el norte de China con clima frío; el modelo "Cerdo - Digestor de Biogás - Huerta", en el sur de China con clima subtropical; y el modelo "Integración de Cinco Componentes", en el noroeste de China, con clima seco (Xiangyun & Hai, 2004).

Modelo "Cuatro en Uno" (Xiangyun & Hai, 2004)

El sistema consiste en una casa con sanitario de 1 m^2, un establo de 20 m^2, un digestor de biogás con un volumen de 6 m^3 debajo del establo y un invernadero

orientado hacia el sur con una superficie de 200 a 600 m², que incluye todos los componentes mencionados. De esta manera el calor almacenado en el invernadero calienta el digestor durante el invierno y facilita la producción de biogás. Los animales domésticos también apoyan a la generación de energía calorífica, al igual que la combustión del biogás en la cocina. La respiración de los animales y los habitantes humanos provee a las plantas de CO_2 y las plantas producen oxígeno para la respiración. El biogás se usa para la cocina, la luz y la calefacción en invierno. Los lodos digeridos en el digestor de biogás se aplican a los cultivos en el invernadero y los cultivos de cereales.

Figura 163
Modelo "Cuatro en Uno", flujos de sustancias y energía



Esquema basado en Xiangyun & Hai, 2004.

Modelo "Cerdo - Digestor de Biogás - Huerta" (Xiangyun & Hai, 2004)

El modelo es muy semejante al "Cuatro en Uno", sólo que por el clima cálido no se incluye un invernadero. La producción de biogás es mayor por las temperaturas elevadas del ambiente, así que se ahorra una cantidad importante de leña por finca, equivalente al crecimiento anual de 0,35 ha de madera para leña, lo que apoya a mantener los bosques locales. La protección de los bosques es uno de los mayores beneficios de este proyecto.

Modelo "Integración de Cinco Componentes" (Xiangyun & Hai, 2004)

Como el clima es semiárido en esta zona, aparte de los cuatro componentes del sistema "Cuatro en Uno", este sistema de cinco componentes incluye adicionalmente un tanque de 6 a 10 m^3 para el almacenamiento de agua pluvial y de este modo cubrir las necesidades de la finca.

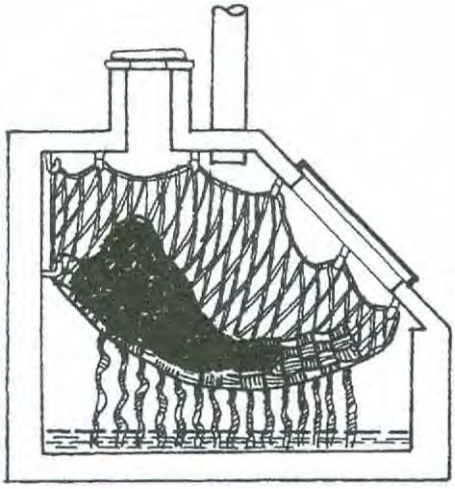
La construcción de los tres sistemas presentados se amortiza en aproximadamente tres años por la venta de animales y alimentos vegetales, además del ahorro de energía y abono químico.

2.2.3. Micronesia

La descripción se basa en el libro de Esrey *et al.*, 2001.

El clima húmedo de las islas del Pacífico impide la implementación de sanitarios ecológicos de desecación y dificulta la instalación de los otros tipos de autoconstrucción. Por este motivo se desarrolló un tipo adaptado al clima, cuyo diseño se basa en el sistema de desecación de doble cámara, pero la masa fecal se retiene en una red colgante al aire. El sanitario consiste en una taza de pedestal y dos cámaras de recepción de la masa fecal, redes de pesca de hilo de nylon colgadas en las cámaras y revestidas de hojas de palmera, para retener el material sólido, un tubo grueso de aireación en cada una de las cámaras y una

Figura 164
Sanitario compostero con red de pesca para retención de sólidos



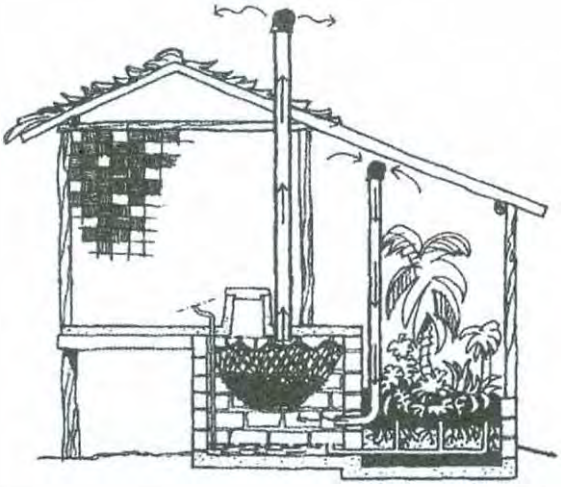
Sanitario compostero CCD, diseñado para los climas extremadamente húmedos de las islas del Pacífico Sur. Tiene un "piso falso" sostenido por una red para pescar, que separa los líquidos de los sólidos, además, cuenta con trozos de tela de ropa vieja retorcidos para incrementar la evaporación.
Fuente: Esrey *et al.*, 2001.

toma de aire por debajo de la red de pesca a lo largo de la pared posterior de la cámara, y puerta inclinada para el recojo del material maduro (figura 164). Para un mejor proceso de compostaje, se añaden otros materiales orgánicos, ricos en carbono, como cáscaras de coco, viruta de madera, hojas y desechos orgánicos de la cocina. El líquido se almacena en el fondo de la cámara y se evapora parcialmente. Para facilitar la evaporación, a veces se cuelgan trozos de ropa vieja de la red. Otra solución es el drenaje del líquido hacia una cama de evapotranspiración con plantas seleccionadas para estas situaciones de sobresaturación del suelo con agua y nutrientes. En estos casos, el líquido de drenaje se pierde para su uso como fertilizante. Una vez que la cámara en uso se llena totalmente, se la cierra y se recorre la taza del inodoro a la segunda cámara, mientras el material en la cámara sellada madura por lo menos durante un año. (Esrey *et al.*, 2001)

Una adaptación interesante es la plantación de la cama de evapotranspiración con plantas comestibles, por ejemplo plátanos, o plantas ornamentales, al exterior de la casa, o en invernadero, con uso adicional del aire caliente generado en el invernadero para la ventilación de las cámaras de depósito (figura 165).

El sistema se podría mejorar todavía con la separación de orina, lo que permitiría recobrarla como fertilizante y disminuir la necesidad de evaporación de líquidos.

Figura 165
Sanitario compostero con invernadero anexo



Sanitario compostero CCD con invernadero anexo y cama de evapo-transpiración. Fuente: Esrey *et al.*, 2001.

El gobierno nacional de los Estados Federados de Micronesia y el ministerio responsable del medio ambiente apoyan la implementación de este tipo de sanitarios en las islas.

2.2.4. Latinoamérica

En varios países latinoamericanos se hizo esfuerzos para introducir sanitarios ecológicos, en su mayoría los sanitarios de deshidratación, con separación de orina. Al respecto, la mayor actividad está en los países centroamericanos, con México a la vanguardia.

México

En este país hay muchos actores en el campo del saneamiento ecológico. Los autores se citan siempre en el texto.

En México, la mitad de la población no tiene servicios sanitarios y sólo 13% de las aguas servidas son tratadas. Las infecciones gastrointestinales son la segunda causa de mortalidad infantil (Clark, 1997a, b).

Entre los países latinoamericanos, México es el más activo en la implementación de las técnicas ECOSAN en varios proyectos, principalmente en el estado de Morelos. Los primeros sanitarios ecológicos se introdujeron a principios de los años 80, como respuesta a la severa contaminación del agua por saneamiento inadecuado (Black, 2002).

Morelos es uno de los estados más afectados por contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y epidemias gastrointestinales, por otro lado, siempre ha sido una región de movimientos sociales y partipación popular. Estas características forman una buena base para la implementación de metodologías ECOSAN. (Clark, 1997a, b).

Principalmente, se instalan dos tipos de retretes de compostaje en México y otros países de Centroamérica. Uno es el sanitario de doble cámara para la dehidratación de las heces, con separación anterior de orina; es el tipo más distribuido mundialmente en los países en desarrollo. El otro es un modelo tipo Clivus-Multrum en autoconstrucción, con una cámara grande donde se descomponen las heces de forma húmeda y fría.

Sanitario de deshidratación

Mayormente, se usa el sanitario de deshidratación que se implementó en especial en varios proyectos en el estado de Morelos y las áreas periurbanas de la ciudad de México. Las primeras actividades datan de principios de los años 80. El promotor más activo en Morelos es el arquitecto César Añorve, que formuló ya en el año 1994 los siguientes objetivos ambientales, sociales y económicos para la implementación de nuevas técnologías sanitarias. (Clark, 1997a, b):

1. Reducir el consumo de agua y las causas de la contaminación de cuerpos de agua.
2. Facilitar la captura de agua localmente, usando las aguas grises poco contaminadas en el riego y así recargando adicionalmente las napas freáticas.

3. Transformar los excrementos en abono para su uso en la agricultura y en áreas verdes urbanas.
4. Fomentar la credibilidad de las técnicas sanitarias alternativas, no sólo en áreas pobres sin saneamiento, sino también en toda la ciudad.
5. Fomentar la autonomía local reduciendo la dependencia de servicios centralizados.
6. Fortalecer la economía local.
7. Demostrar la capacidad de la sociedad civil de autoorganizarse y usar su imaginación.

Todas las experiencias subrayan la importancia de un fuerte acompañamiento de la implementación técnica de los nuevos sistemas por campañas de educación y concienciación, además de un seguimiento cercano junto a los pobladores. El éxito de los programas depende del seguimiento a largo plazo (Clark, 1997b, 2002).

Figura 166
Construcción de un sanitario de deshidratación de doble cámara en ayuda vecinal

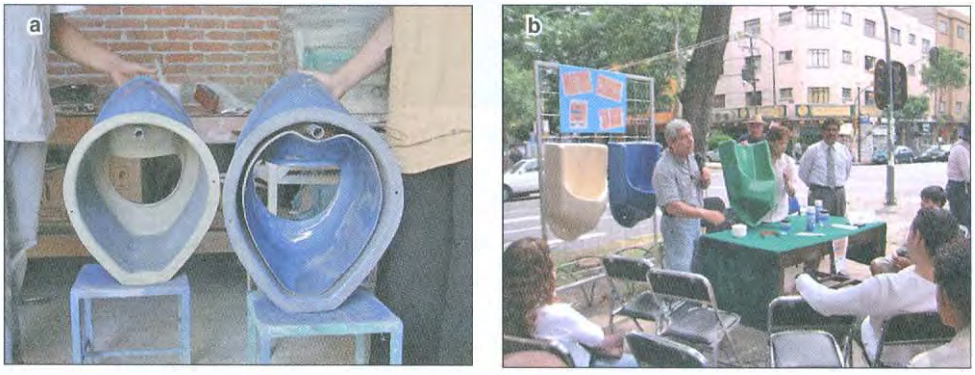
Fuente: Clark, [s/f]. <www.nationalwatercenter.org/george_ann_article.htm>.

Una de las tareas más arduas fue el diseño y la producción de los inodoros. Se probó varias formas y distintos materiales. Se puede producirlos de forma rústica a partir de baldes y botellas de plástico para la separación de la orina, pero los modelos fabricados más sofisticados y de colores son más apreciados. Hace varios años se instalaron microempresas para su producción rutinaria. Actualmente se venden tazas de inodoro de concreto, de fibra de vidrio y de plástico reciclado (Clark, 1997b).

Figura 167
Sanitario ecológico en Playa del Carmen

Foto: TepozEco.

Figura 168
Producción y promoción de inodoros separadores y urinarios sin agua



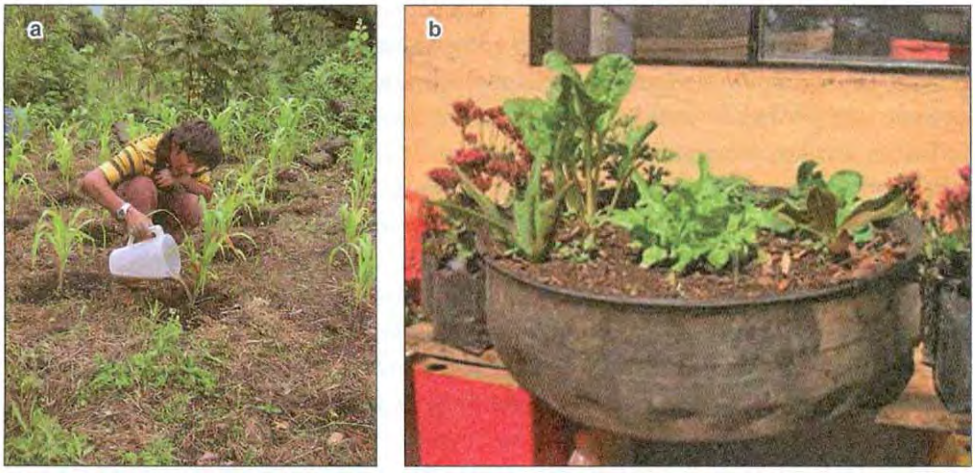
a: producción de inodoros separadores en el taller de Cesar Añorve; b: promoción de urinarios secos por el proyecto TepozEco. Fotos: TepozEco.

Los costos totales para la estructura entera de un retrete individual exterior a la vivienda, incluyendo la edificación de paredes, puerta y techos, en México es de reaproximadamente $us 150, lo que significa 1/10 de su contraparte convencional comparado a nivel doméstico. Si se adiciona a esta ecuación el costo de la red de alcantarillado y la planta de purificación, necesarias para un sistema convencional, la diferencia aumenta astronómicamente. (Clark, 1997b).

La orina fermentada se aplica como fertilizante en varios ámbitos: para cultivos agrícolas, especialmente maíz y nogales (tuna), para plantaciones en áreas verdes urbanas, y para el cultivo de hortalizas a nivel familiar. Para fermentar la orina se coloca al recipiente una cuchara de tierra negra, composta o lombricomposta por cada litro y se deja reposar durante un mes, sin tapar el recipiente. (Arroyo, 2003).

En la ciudad de México se desarrolló un proyecto para uso de orina en la agricultura urbana, con un sistema organopónico. Se reunieron 1.200 familias que producen legumbres en contenedores de llanta reusados. Los participantes no tienen tierra cultivable ni recursos financieros. Los contenedores se instalan en el patio o en los techos. Se llenan con hojarasca de árboles y arbustos caducifolios y/o pasto de recorte hasta un 85% de su capacidad, dejando espacio para una capa superior de tierra o humus de lombriz generado en base a residuos de cocina, en la cual se siembran las semillas. La capa de hojarasca se inocula al principio con tres litros de orina. Se perfora un hueco en la pared del contenedor, 5 a 10 cm encima de su fondo. El sistema funciona bien, es económico y produce aproximadamente 25 kg de verduras al año por metro cuadrado. (Ceballos, 1997, citado en Clark, 1997b; Esrey *et al.*, 2001; Arroyo, 2003).

Figura 169
Aplicación de orina en cultivos de plantas comestibles



a: aplicación de orina en un campo de maíz; b: agricultura urbana en llantas volcadas, en base a orina.
Fotos: TepozEco.

En algunos casos, la orina también se utiliza como fungicida en el cultivo de plantas (Clark, [s/f]).

Los proyectos han tenido gran éxito entre los pobladores del campo y de los barrios periurbanos. A partir de esa experiencia se emprendió un programa holístico urbano de ECOSAN en Tepoztlán, una ciudad pequeña, 70 km al sur de la ciudad de México. Este programa con nombre TepozEco abarca una población de aproximadamente 33.000 personas. Se incluye la promoción de sanitarios ecológicos, el manejo del consumo de agua, el manejo de aguas grises, la cosecha de aguas de lluvia, el reciclaje de residuos orgánicos, la agricultura urbana y la educación ambiental. La RedSeco, una red de saneamiento ecológico en México, juega un rol importante en el proceso multidisciplinario de planificación y tiene que ser un mecanismo clave para la implementación del programa.

Los componentes del programa y sus objetivos son:

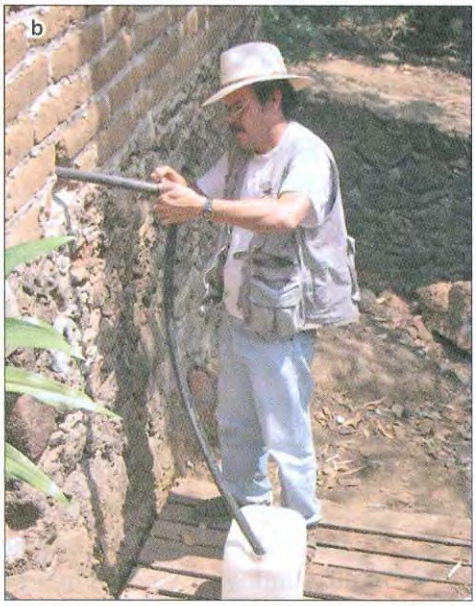
- La implementación de *retretes ecológicos* en diferentes modelos, para demostrar su viabilidad técnica y económica, así como su valor para la conservación de los cuerpos de agua y el medio ambiente en general.
- La *demostración de la situación precaria del suministro de agua potable* a la población y las autoridades municipales, para que reconozcan la importancia de medidas de protección.
- La implementación de sistemas de *reuso de aguas grises*, demostrando la viabilidad económica, social y ambiental.
- La implementación del *compostaje* de excreta humanas para demostrar su valor en la fertilización de *huertas orgánicas* de legumbres, como opción técnicamente viable y culturalmente aceptable.
- La *educación* y el *entrenamiento ambiental* para diseminar la teoría y práctica del saneamiento ecológico entre los habitantes de Tepoztlán.
- El *manejo, monitoreo y evaluación de los resultados.*

Los dos últimos puntos son muy importantes para el éxito de la iniciativa porque la promoción del saneamiento ecológico no sólo depende de la ingeniería, sino de una profunda sensibilidad y psicología en la recepción de prioridades y políticas locales, los procesos participativos con la población y la inclusión de las autoridades en todo el proceso (Sawyer *et al.*, 2004).

Entre otros, se construyen mingitorios públicos para eventos grandes, se recolecta la orina y se la usa como activador de compost, aplicándola a las pilas de material orgánico de basura municipal, al lado del depósito sanitario de la ciudad. Para el uso de los mingitorios ecológicos no se cobran entradas; en el último evento de ópera al aire libre se recolectaron 400 l de orina. Una novedad son los mingitorios para mujeres. Para defecar se instala un sanitario especial. (Sawyer, com. pers., 2004).

En los barrios con uso de sanitarios ecológicos se comenzó también a usar las aguas grises en el riego de jardines, luego de un tratamiento para retener los

Figura 170
Recolección de orina en mingitorios públicos y su aplicación al proceso de compostaje en el relleno sanitario de basura municipal



a: instalación de mingitorios públicos para la recolección de orina
b: desvío de la orina desde los urinarios hacia un bidón
c: depósito de basura municipal.
Se observan las pilas de compost y la llegada del contenedor de orina recolectada
d: regadío de las pilas de compost con la orina recolectada en los mingitorios públicos
Fotos: TepozEco.

aceites y grasas provenientes de la cocina, en una trampa de grasas, y la filtración de sólidos suspendidos y procesamiento de materia orgánica contenida en las aguas grises mediante un filtro lento de arena, sembrado con plantas acuáticas emergentes, una variación simple de los humedales artificiales con flujo horizontal (ver capítulo VI). (Añorve, [s/f]).

Clivus Multrum en autoconstrucción

Este tipo de sanitarios, promocionados por el Instituto Recurso para sistemas de baja entropía (ReSource Institute for Low Entropy Systems RILES), también

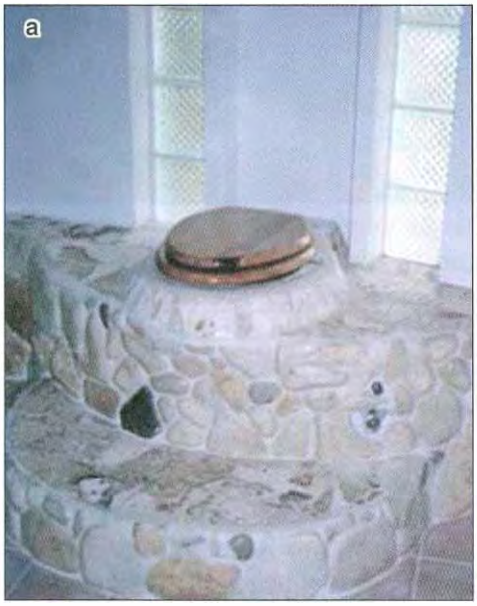
se distribuyen en toda Centroamérica, pero en menor cantidad. El sistema promocionado no sólo contiene un sanitario ecológico con compostaje, sino se construye el baño entero y un sistema de irrigación con las aguas grises.

Para RILES, los factores importantes en el diseño de sistemas de saneamiento son la belleza, la funcionalidad y el costo. La estética del diseño y de los materiales usados se tienen que tomar en cuenta para clientes ricos y pobres. De esta manera, los sistemas construidos hacen su propia propaganda. El costo oscila entre $us 300 y 800, incluyendo material y mano de obra. (Del Porto & Steinfeld, 2000).

El sanitario consiste en un inodoro y un depósito grande con fondo inclinado, donde la masa fecal se descompone aeróbicamente en forma continua. Los modelos se pueden construir con diferente grado de sofisticación y se adaptan a comunidades ricas y pobres, incluyendo unidades con y sin flujo de agua. La masa fecal se reduce a un 5% durante el proceso de compostaje.

El humus se acumula en el fondo de la cámara, de donde se recoge por una puerta de acceso. El líquido de exceso se recolecta en el fondo, en un contenedor separado. Una familia de seis personas puede captar entre 100 y 200 litros al año, dependiendo del uso y la evaporación. Los patógenos en la masa no se eliminan por calor, sino por las condiciones no favorables para ellos dentro del depósito de compostaje y por el tiempo de almacenamiento. Según el productor de este inodoro, el compost maduro y la orina percolada son libres de patógenos. Se recomienda el mantenimiento profesional de su modelo. (<www.riles.org>).

Figura 171
Sanitario ecológico de Resource, en México



a: vista del interior.
b: vista de las cámaras de deposición del exterior.
Fuente: <www.riles.org>.

IX
Conclusiones

El actual manejo de aguas en las comunas, con sus redes de distribución y alcantarillado extendidas, y plantas de potabilización y tratamiento de aguas servidas altamente sofisticadas, no son flexibles ni sostenibles, en especial no debería ser exportado a países en desarrollo.

Por otro lado, el acceso a agua pura e instalaciones sanitarias juega un rol decisivo en la lucha contra la pobreza y en el desarrollo sostenible. Existe una relación fuerte entre el producto nacional bruto de un país y su acceso al agua. Los sistemas descentralizados de bajo costo son la respuesta adecuada a este problema. (Brugger, 2007).

Para un desarrollo urbano orientado al futuro se deben integrar los diferentes aspectos del manejo del agua, como el manejo del abastecimiento con agua potable, el manejo de las aguas servidas, la protección de los cuerpos de agua, el diseño paisajístico, las actividades de recreación y la planificación urbana, y desarrollar infraestructuras que posibiliten el uso sostenible del recurso (según Schramm, 2000):

- Por razones de cantidad de agua disponible y la disponibilidad decreciente de agua por los cambios climáticos globales y el crecimiento poblacional.
- Por los costos elevados y crecientes para la infraestructura de tratamiento y transporte de agua potable y agua residual.
- Por razones de economizar los recursos fertilizantes de fósforo y potasio.

Nuevos sistemas, que pretenden ser más sostenibles que el sistema convencional, tienen que cumplir los siguientes criterios (ver capítulo II, subtítulo 2.) (según <www.akwasser.de>):

- Usar menos energía que los sistemas convencionales, posiblemente generar una ganancia de energía.

- Cerrar los ciclos de agua y nutrientes de mejor manera.
- Posibilitar una mejor protección de los cuerpos de agua.
- Ser más económicos que los sistemas convencionales, tomando en cuenta todas las inversiones y costos de operación y mantenimiento.
- Garantizar los estándares higiénicos actuales.
- Tener aceptación social .

Los sistemas descentralizados pueden desarrollarse sin problemas en zonas donde todavía no existe la infraestructura técnica convencional, especialmente en regiones desprovistas de una red de alcantarillado, como son terrenos de construcciones nuevas, en caso de medidas de saneamiento, y en las zonas marginales de las ciudades y las áreas rurales, tanto en países industrializados como en países en desarrollo.

Conceptos

Para llegar a un uso sostenible del agua se deben cambiar los paradigmas y se deben tomar en cuenta los principios de equilibrar los balances naturales, cerrar los ciclos y evitar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se necesita cambiar la percepción y las actitudes individuales e institucionales, y un cambio profundo en las estructuras técnicas actuales. Se tiene que percibir el agua como recurso valioso e imprescindible para la vida y estar consciente de que se trata de un recurso finito y vulnerable.

La crisis del agua es mucho más un problema de manejo del agua que un problema hidrológico. Para el futuro manejo del agua se necesita un acercamiento claramente interdisciplinario y holístico. La meta principal es ubicar la responsabilidad para el manejo del agua lo más cercano posible al consumidor. (Brugger, 2007; Kinzelbach *et al.*, 2007).

Los modelos futuros se basan en la cuenca como unidad apropiada para el manejo y en modelos cíclicos diferenciados. Se refieren a cuatro objetivos principales (según Schramm, 2000):

- El uso de fuentes descentralizadas.
- El manejo de las aguas residuales en forma local (en fuente).
- La protección de los cuerpos de agua y del paisaje.
- La participación de la población local.

Para lograr estos objetivos se desarrollaron distintos elementos estructurales y funcionales como ser (según Schramm, 2000):

- Diferentes formas de reciclaje y uso múltiple del agua.
- Diferentes procedimientos para el manejo natural de las aguas pluviales (¡el manejo y uso del agua pluvial es la llave para el futuro!).
- Tratamiento diferenciado de aguas residuales específicas.

- Estrategias de uso de agua relacionadas con los balances naturales, por ejemplo, el uso de fuentes locales como aguas de servicio (aguas pluviales y aguas superficiales).
- La integración de los procesos hidrológicos con el diseño paisajístico, por ejemplo, en áreas verdes y de recreación o en la renaturación de cuerpos de agua y zonas ribereñas.

Los nuevos conceptos descentralizados no son primariamente medidas para el ahorro de agua, lo que en muchas regiones no es necesario, sino tienen su importancia principalmente en la protección de los cuerpos de agua y la renovación de los ciclos locales del agua y los nutrientes.

Los conceptos generales, los principios hidrológicos y técnicos, la implementación de unidades pequeñas y estrategias de ahorro del agua se pueden transferir y usar en todo el mundo. Los principios básicos tienen que reconocerse globalmente y tienen que ser implementados por reglamentos; luego las soluciones apropiadas tienen que encontrarse localmente. Se trata de una visión holística con una gama de principios básicos y no con una tecnología específica. (Geiger, 2001).

No existen soluciones prefabricadas. Los problemas correspondientes al agua tienen que resolverse de forma específica en cada lugar, en cada ciudad, en cada distrito y en cada vecindad. Por este motivo se tienen que descentralizar las responsabilidades y las acciones. Cada proyecto debe adaptarse a las condiciones locales climáticas, geomorfológicas, hidrológicas, sociales y económicas. (Geiger, 2001).

Un manejo descentralizado de las aguas pluviales es sumamente difícil en zonas planas con alto nivel de las aguas subterráneas y también en regiones montañosas con pendientes fuertes, que aumentan el riesgo de erosión y deslizamientos. Mientras que existen medidas, como el desellado de superficies, la naturación de techos y la implementación de sanitarios ecológicos que se adaptan a cualquier situación. En situaciones especialmente difíciles, el municipio tiene que hacerse cargo del manejo de las aguas pluviales y el tratamiento de las aguas grises.

Actualmente, los conceptos son desarrollados y reconocidos, y la implementación de proyectos aumenta exponencialmente. Como la demanda por las nuevas tecnologías crece continuamente, los sistemas correspondientes bajan en precio y a futuro se espera una disminución significante de éstos.

Un prerrequisito clave para la implementación de sistemas descentralizados es la cooperación con planificadores urbanos, aparte de la necesidad de educación y concienciación de la población y los ingenieros.

Tecnología

La primera necesidad para un uso racional del agua es su ahorro, mediante varias medidas, en primer lugar un cambio de comportamiento, es decir, evitar el

desperdicio del agua. Esto se facilita con los artefactos y equipos modernos de bajo consumo. En especial, los artefactos de bajo consumo son económicos y se amortiguan en corto plazo, semanas hasta pocos meses por el ahorro de agua, dependiendo de las tarifas de agua y la cantidad de usuarios. Se tiene que hacer accesible esa técnica en todos los países del mundo.

En segundo lugar, se debe pensar en el uso de fuentes alternativas de agua, especialmente en el uso de las aguas pluviales que necesitan poco tratamiento para ser aptos como agua de servicio y también pueden convertirse fácilmente en agua potable en regiones donde la escasez de otras fuentes de agua de buena calidad lo hace necesario.

Otro cambio fundamental necesario es la distinción entre agua potable y agua de servicio.

La tecnología descentralizada correspondiente al suministro de agua potable, tratamiento y reciclaje de agua, así como el manejo de las aguas pluviales, está desarrollada ya en nivel alto; existen metodologías de baja como de alta tecnología, de muy diferente nivel de sofisticación y costo. Las medidas holísticas se pueden lograr por un sinnúmero de opciones tecnológicas. Aun las tecnologías están en constante mejoramiento. Módulos de membrana, sistemas computarizados de control, recolección separada de diferentes tipos de aguas servidas, sistema sanitario dual en la vivienda con reciclaje de aguas grises, la combinación de los servicios de agua, agua servida, desechos sólidos y suministro de energía en multiutilidades, especialmente a nivel descentralizado, parecen ser las tecnologías más importantes para el desarrollo futuro (BMBF, 2001). Por otro lado, existen numerosos proyectos en todo el mundo que comprueban la factibilidad y eficiencia de soluciones de baja tecnología, los que también están en constante desarrollo.

La mayoría de las soluciones técnicas integrales ahorran no sólo agua, sino también cantidades significativas de energía, además de generar productos de abono, y de esta manera no sólo aportan al cierre de los ciclos locales de agua y nutrientes, sino también mejoran la economía.

Costos

Las medidas descentralizadas generalmente ya se pueden implementar a un costo bajo, muchas veces más bajo que los sistemas convencionales. En cada caso, también la instalación de sistemas sofísticados se amortigua a mediano plazo. En forma global y tomando en cuenta sus beneficios ecológicos, las soluciones descentralizadas siempre tienen ventajas económicas.

Se espera que los costos en el futuro bajen sustancialmente por dos razones: el desarrollo técnico continuo y un mercado creciente.

Grandes sistemas de suministro de agua y eliminación de desechos líquidos cuestan mucho más que sistemas pequeños, autónomos. En caso de catástrofes como incendios, inundaciones o terremotos, los sistemas centrales son muy vulnerables y las fallas en éstos tienen graves consecuencias. Desde el 11 de septiembre de 2001, sistemas de suministro de agua y reservas de agua han vuelto a ser puntos potenciales de ataque de bio-terrorismo. Sistemas como la cosecha de aguas pluviales, cisternas de almacenamiento, separación de aguas negras y reuso de aguas grises para el uso parcial o total representan una opción lógica y económica para reducir estas presiones. Sistemas pequeños son menos susceptibles a fallas. Además pueden desarrollarse microempresas y empresas medianas para su construcción y mantenimiento, y de esta manera pueden reforzar las estructuras socioeconómicas. Sistemas pequeños y autónomos son capaces de funcionar porque la gente que los opera y usa se identifica con su sistema y lo reconoce como su propiedad. "Vecindades de agua" son mucho mejores y flexibles para tomar medidas preventivas en cualquier situación. (Geiger, 2001).

La factibilidad económica depende principalmente de la reducción del sistema de alcantarillado. El dinero invertido en estos sistemas costosos puede usarse mejor en la implementación de tecnologías mejoradas. La ciudad futura es una urbe con un alcantarillado muy reducido en tamaño o idealmente sin alcantarillado. Redes de alcantarillado con tubos de poco espesor pueden ser manejadas por sistemas de vacío que tienen varias ventajas ante sistemas de gravedad y bombeo.

Los sistemas descentralizados pueden exigir mayores costos de operación, los que pueden ser compensados parcial o totalmente con mano de obra propia, dependiendo de la situación y de la clase social. Por otro lado, los sistemas descentralizados producen mucho más fuentes de trabajo que los sistemas centralizados.

Aceptación

La aceptación de todos los métodos descentralizados depende mayormente de su confort y seguridad, lo que ya se ha logrado en la mayoría de los casos. El mantenimiento no debe ser mayor que para los sistemas convencionales. Se debe contar con empresas profesionales que ofrecen el servicio de instalación y mantenimiento a un costo no mayor que en los sistemas convencionales. Debe ser atractivo en cuanto al ahorro de costos para agua potable y aguas servidas. Los reglamentos del estado tienen que prever la implementación de estos sistemas sin poner obstáculos normativos y las comunas tienen que incentivar estas medidas y crear modelos convincentes en sus propiedades, convirtiéndose en promotores de concienciación para la población.

La demanda por estos sistemas está creciendo, lo que muestra que un gran porcentaje de la población en todo el mundo ya está aceptando estas nuevas tecnologías.

En países en desarrollo, la introducción de estos métodos descentralizados es más urgente por la situación precaria en el sector agua, por deficiencia del agua en general en las zonas semiáridas, por deficiencia de aguas no contaminadas y por falta de sistemas de suministro de agua y más todavía por falta de sistemas de saneamiento. El desarrollo mínimo de sistemas centralizados también se puede ver como una oportunidad para introducir directamente soluciones descentralizadas más sostenibles, antes de tener que transformar sistemas centralizados como en los países industrializados.

Muchas veces, los nuevos métodos descentralizados se pueden basar en las costumbres y tradiciones de los pueblos, por ejemplo, el uso tradicional de heces como en la China o la cosecha tradicional de aguas de lluvia como en la India.

En países en desarrollo, en los proyectos ECOSAN se ha observado que la aceptación de los sistemas depende principalmente del grado de participación de los usuarios, de las tradiciones y costumbres, y de un seguimiento cercano y extendido.

Actualmente, para países en desarrollo en especial las medidas de ECOSAN son las más interesantes para implementar un servicio sanitario seguro en zonas rurales y periurbanas, sin conexión a una red existente de alcantarillado. En este caso, se favorecen las soluciones de baja tecnología con reciclaje de los productos en el propio hogar y/o la creación de microempresas para el mercadeo de los productos. Los ejemplos de México y China muestran que la aceptación de estos sistemas alternativos está creciendo rápidamente.

Lo importante, en cada caso, es estudiar primero las costumbres y minimizar la introducción de cambios, actuando siempre con la participación de la población. Todas las experiencias subrayan la importancia de la participación de los usuarios, desde el principio, en los procesos de planificación, educación e implementación, y el seguimiento cercano de los proyectos a largo plazo. No siempre, las aspiraciones de los usuarios coinciden con las metas del proyecto, aunque esté técnicamente bien desarrollado y fundamentado, como en el caso del pueblo chileno de Chungungo, que ha sido aprovisionado con colectores de neblina.

Existen muy pocas entrevistas sobre la aceptación de los nuevos sistemas por los usuarios. Entre los expertos de países industrializados se estabiliza la opinión de un crecimiento rápido en los sistemas de uso de agua pluvial y de aguas grises como agua de servicio (Beneke, 2002). La EAWAG en Suiza está trabajando intensivamente con la población para estudiar la aceptación de sistemas sanitarios con segregación de los flujos de orina y residuos fecales, y la aceptación de los productos finales por los agricultores (Novaquatis, [s/f]).

En el manejo de las aguas pluviales es importante que los sistemas nuevos mejoren la calidad ambiental no sólo en el sentido ecológico, sino deben mostrar beneficios directos para la población, como la disminución de riesgos de inundación, el mejoramiento del clima, el valor estético, la creación de lugares de encuentro para todas las clases de edad. Por otro lado, se tiene que prevenir riesgos para las edificaciones.

Ventajas para municipios

La urbanización global es un proceso que se acelera permanentemente. Se estima que en el año 2025, más de 60% de la población mundial vivirá en ciudades. Actualmente, las megaciudades sobreutilizan sus recursos de agua subterránea. El crecimiento rápido y no planificado de las urbes, especialmente en los países en transición y en vías de desarrollo, imposibilita el abastecimiento de toda la población urbana con los servicios básicos necesarios.

Los municipios, en todo el mundo, tienen problemas de financiamiento en la ampliación y el mantenimiento de los sistemas centralizados de abastecimiento y evacuación segura de las aguas. Estos problemas se agudizan en los países en transición y en vías de desarrollo. Con los sistemas ecológicos descentralizados se puede ahorrar una gran cantidad de agua, lo que es especialmente importante en zonas con escasez de agua y las grandes urbes del tercer mundo, donde el abastecimiento con agua potable muchas veces es irregular. El ahorro en cantidad permite un abastecimiento más regular y más equitativo entre ricos y pobres. Por otro lado, es posible incrementar la cobertura con sistemas sanitarios seguros en las zonas periurbanas y acelerar el proceso de cobertura. Los sistemas descentralizados son independientes del tipo de suelo y de los problemas hidrográficos. Finalmente, estas nuevas tecnologías reducen en gran medida la contaminación en suelos, aguas y la cantidad de residuos sólidos, y apoyan a la disminución de enfermedades causadas por malas condiciones higiénicas.

En resumen, se puede afirmar que las tecnologías descentralizadas de manejo óptimo de agua, en todos los campos correspondientes, desde el suministro hasta su reciclaje, tratamiento y evacuación, están desarrolladas a tal nivel, que son aptas para su implementación a gran escala. Se ha comprobado que no sólo mejoran sustancialmente los ciclos naturales y la calidad ambiental, sino que también son económicamente factibles y sostenibles por su ahorro en extensas redes de distribución y evacuación más la implementación de plantas grandes y sofisticadas de potabilización y tratamiento de aguas residuales, por su ahorro significante de agua y energía, y la generación de productos comerciales. Son las tecnologías del futuro para los países industrializados y los países en transición y en vías de desarrollo, y las únicas que pueden cumplir con las "Metas de Desarrollo del Milenio", planteadas en la Cumbre de Johannesburgo para el Desarrollo Sostenible, de suministrar agua y saneamiento seguro hasta a los mas pobres de este mundo.

Pero el cambio más importante está en nosotros. Todos tenemos la responsabilidad de usar menos agua, producir la cantidad mínima posible de aguas servidas y recuperar al máximo los nutrientes contenidos en los desechos líquidos y sólidos. Todos nosotros, igual si vivimos en regiones con suficientes recursos acuáticos o en zonas con déficit de agua, donde existe la posibilidad, sin grandes costos en recursos materiales y energéticos, debemos utilizar las aguas pluviales para evitar la sobreexplotación de otras fuentes más sensibles, las aguas superficiales y subterráneas.

Bibliografía citada

ADAMS, D.
2003 "Innovative Moeglichkeiten bei der Regenwasserbewirtschaftung mit Rigolenfuellkoerpern", en Umweltpraxis N° SH 1/2003, pp. 22 - 23, Wiesbaden, Alemania.

ADAMSSON, M.; Z. Ban & G. Dave
2004 "Sustainable utilization of human urine in urban areas - practical experiences", en Memorias del 2do Simposio Internacional sobre Saneamiento Ecológico, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 643 - 650, Luebeck, Alemania.

AGENDA 21
1992 *El Programa de Acción de Río de las Naciones Unidas. Sección 2: Conservación y Manejo de recursos para el desarrollo. Capítulo 18.2.*, Nueva York, EEUU, Naciones Unidas, División de Desarrollo Sostenible.

ANDREATTA, D.
2004 "A summary of water pasteurization techniques", en <www.solarcooking.org/solarwat.htm>.

AÑORVE, C.
[s/f] *El a, b, c del sanitario ecológico seco. Construcción, uso y mantenimiento. Filtros para aguas jabonosas, reforestación, medicina tradicional*, Cuernavaca, México, Centro Mujeres Tonantzin, Centro de Innovación en Tecnología Alternativa, Centro para la Administración de los Recursos Ambientales.

ARIS
[s/f] Brochure de la empresa, Wernau, Alemania.

ARROYO, F. J.
2003 "El sistema organopónico. Uso de la orina humana como activador y fuente de nutrientes en procesos de composteo", en Taller Internacional Saneamiento Ecológico: Informe Técnico, Cochabamba-La Paz, Bolivia, Ministerio de Servicios y Obras Públicas: Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA,EcoSanRes, UNICEF, 17 al 19 de noviembre de 2003.

ATELIER DREISEITL
2000 "Das Wasserkonzept fuer das >Urbane Gewaesser<", en Schriftenreihe Forum, Vol. 9, Elemente des Naturhaushalts I: Wasser, pp. 282 - 286, Edit. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, Alemania.

———
2002 *Regen bringt Segen*, Ed. Informationszentrum Beton (Koeln), Edit. Bau und Technik, Duesseldorf, Alemania.

ATV
2000 *Handlungsempfehlungen fuer den Umgang mit Regenwasser*, Manual M 153, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Hennef, Alemania.

AWF
2001 *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung Gewerbegebiet Dahlwitz-Hoppegarten. Teilvorhaben 5 (Erfolgskontrolle). Abschlussbericht*, informe inédito, Arbeits- und Wirtschaftsfoerderungs GmbH Dahlwitz-Hoppegarten, Berlín, Alemania.

BAHLO, K.
1999 "Bewachsene Bodenfilter zur Grauwasserreinigung", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr 5, pp. 85 - 95, Darmstadt, Alemania.

BAHLO, K.; G. Wach
1992 *Naturnahe Abwasserreinigung*, Edit. Oekobuch, Staufen, Alemania.

BARK, K.; M. Oldenburg & W. Keipp
2004 "ECOSAN modules - adapted solutions for a medium sized city in Malí", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 683 - 680, Luebeck, Alemania.

BENEKE, G.; U. Bruedern; A. Burmester; S. Kunst & H. Von Seggern
2003 "Einfuehrung in die Thematik und Forschungsstand", en Kunst, S. & H. Von Seggern, *Abwasserreinigung in verstaedterten Orten*, informe final del estudio, Universidad de Hannover, Alemania.

BENEKE, G. & H. Von Seggern
2004 "The decentralization of sewage purification from the perspective of open space and urban planning", en Memorias del 2do Simposio Inter-

nacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 807 - 809, Luebeck, Alemania.

BENEKE, G.; H. Von Seggern; A. Stokmann; S. Kunst; U. Bruedern & B. Von Kuegelgen
2001 "Abwasser als Bestandteil von Stadtlandschaft", en Beitraege zur raeumlichen Planung N° 61, *Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung*, de la Universidad de Hannover, Alemania.

BENGTSSON, L. & K. Arpe
2000 "Wasser im Klimasystem", en Schriftenreihe Forum, Vol. 9, Elemente des Naturhaushalts I: Wasser, pp. 116 - 123, Edit. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, Alemania.

BERGER, W.
2001 "Toiletten ohne Wasser - Komposttoiletten im Wohnungsbau", en fbr - wasserspiegel N° 4 / 01, año VI, pp. 26 - 31, agosto de 2001, Darmstadt, Alemania.

———
2002 "Sanitaertechnik ohne Wasser - Komposttoiletten in der Oekologischen Siedlung Bielefeld-Waldquelle", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 75 - 84, Darmstadt, Alemania.

BERLINER WASSERBETRIEBE
2002 *Neue Sanitaerkonzepte fuer die separate Behandlung der Teilstroeme Urin, Faekalien, Grauwasser; Pilotprojekt Stahnsdorf*, tríptico, noviembre de 2002, Berlín, Alemania.

BLACK, M.
2002 "Official Conference Report", en First International Conference on Ecological Sanitation en Nanning, China, del 5 al 8 de noviembre de 2001.

BLANCO, J.
2001 "Utilización de la luz solar para el tratamiento de contaminantes en agua (detoxificación solar)", en García B. A. (ed.), *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*. Cap. 16.3.1, pp. 308 - 310, Mc GrawHill / Interamericana de España, Madrid, España.

BLEIF, A.
2003 "EVS-Betriebserfahrungen mit bewachsenen Bodenfiltern", en Memorias EVS del Seminario del Entsorgungsverband Saar, noviembre de 2003, Saarbruecken, Alemania.

BMBF
2001 *Untersuchung zum internationalen Stand und der Entwicklung alternativer Wassersysteme*, Bundesministerium fuer Bildung und Forschung, BMBF

Forschungsvorhaben N° 02WA 0074 (Editores científicos: K.-U. Rudolph & D. Schaefer, Institut fuer Umwelttechnik und Management, Universidad de Witten / Herdecke, Alemania).

———— 2001 *International Survey on Alternative Water Systems*, BMBF-Research-Projekt N° 02 WA 0074, Federal Ministry of Education and Research Bonn, Karlsruhe Research Center Technology and Environment, Institute for Scientific Engineering and Management Witten / Herdecke, Alemania.

BOELHOUWER, W. P.
2001 "Turning rainwater into drinking water", en fbr-wasserspiegel N° 4 / 01, año VI, pp. 9 -11, agosto de 2001, Darmstadt, Alemania.

BROMBACH, H.
1996 "Neuere Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit der Regenwasserbehandlung beim Misch- und Trennsystem", en Tagungsband, Kolloquium zum Schwerpunkt Regenwasser, del 12 al 16 de agosto de 1996, Hamburgo, Alemania.

BRUGGER, F.
2007 "Present and future problems of water in developing countries", en Lozan, J. L. *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 250 - 254, Hamburgo, Alemania.

BULLERMANN, M.; F. K. Luecke; G. Mehlhart & U. Klaus
2001 "Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke", en Schriftenreihe fbr 7, pp. 1 - 129, Darmstadt, Alemania.

BURMESTER, A.
2003 "Die Leistungsfachigkeit von Abwasserteichanlagen", en Kunst, S. & H. Von Seggern, *Abwasserreinigung in verstaedterten Orten*, informe final del estudio, Universidad de Hannover, Alemania.

CEBALLOS, Y.
1997 *Organic Food Production in Marginal Urban Areas*, SANRES Sanitation Research Project, México.

CERECEDA, P.; P. Osses; H. Larrain; M. Farías; M. Lagos; R. Pinto & R. S. Schemenauer
2002 "Advective, orographic and radiation fog in the Tarapacá region, Chile", Atmospheric Research 64, pp. 261 - 271, Amsterdam, Países Bajos.

CIFUENTES, E.; M. Wegelin & M. Saladin
2007 "Health impact of SODIS and hand washing promotion in Latin America", en SANDEC News 8, pp. 12 - 13, Zúrich, Suiza.

CLARK, G. A.
[s/f] "Cuernavaca 'City of Eternal Spring'... and sewage", en <www.nationalwatercenter.org/george_ann_article.htm>.

1997a "Dry sanitation in Morelos, Mexico", en Ecological Alternatives in Sanitation. Proceedings from Sida Sanitation Workshop, del 6 al 9 de agosto de 1997, Balingsholm, Suecia.

1997b "Case study of dry sanitation in Morelos, Mexico", parte 1 en <www.compostingtoilet.org/articles/esac1.html>, parte 2 en <www.compostingtoilet.org/articles/esac2.html>.

2002 "Eco sanitation in Mexico: Strategies for sustainable replication", en Proceedings of the First International Conference on Ecological Sanitation, del 5 al 8 de noviembre de 2002, Nanning, China.

CRITES, R. & G. Tchobanoglous
2000 *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*, Mc Graw-Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia, 3 tomos.

DE BRUJNE, G. & N. Dulacname
2004 "ECOSAN - clean production mechanism under the Kyoto-protocol", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, pp. 109 - 110, Luebeck, Alemania.

DEL PORTO, D.
2000 "Ecological sanitation and wastewater management systems in North America and the Pacific Islands", en Simposio Internacional sobre Ecological Sanitation, del 30 al 31 de octubre de 2000, Bonn, Alemania.

DEL PORTO, D. & C. Steinfeld
2000 *The composting toilet system book*, The Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Concord, Massachusetts, EEUU, 1ra edición, 2da imprenta con adiciones.

DEUBNER, H. & H. Schuller
1992a "Oekosiedlung Gaertnerhof, Kurzfassung", en Dokumentation eines Projektes, Forschungsarbeit F 1075, pp. 1 - 19, Gaenserndorf, Austria.

1992b "Oekosiedlung Gaertnerhof, Teil III: Wasserhaushalt", en Dokumentation eines Projektes, Forschungsarbeit F 1075, pp. 261 - 313, Gaenserndorf, Austria.

1992c "Oekosiedlung Gaertnerhof, Teil IV: Materialhaushalt: Die Komposttoilette", en Dokumentation eines Projektes, Forschungsarbeit F 1075, pp. 341 - 376, Gaenserndorf, Austria.

DIESTEL, H. & M. Schmidt
1998 "Wasserwirtschaftliche Vision: Die abflusslose Innenstadt - ein richtiger Ansatz?", en Senatsverwaltung fuer Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, *Zukunft Wasser*, en Memorias del Simposio sobre Sostenibilidad en la Gestión de Aguas (Nachhaltigkeit im Wasserwesen), del 17 al 19 de junio de 1998, Berlín, Alemania.

DIETER, H. H. & R. Schmidt
2007 "The aesthetics and acceptability of reused water", en Lozan, J. L. *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 235 - 239, Hamburgo, Alemania.

DOHMANN, M. & R. Hamacher
1996 "Versickerung von Regenwasser. Konsequenzen fuer die kommunale Abwasserentsorgung", Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, Análisis de Aguas Servidas y Calidad de Aguas, del 12 al 16 de agosto de 1996, Universidad Técnica de Hamburgo (TUHH); en Coloquio sobre Aguas Pluviales como Tema Principal, pp. 31 - 36, Hamburgo, Alemania.

DREISEITL, H.; D. Grau & K. H. C. Ludwig
2001 *Waterscapes. Planning, Building and Designing with water*, Edit. Birkhaeuser, Basel-Berlín-Boston.

EAWAG
2003 "Siedlungsentwaesserung im Wandel", EAWAG-News 57d, septiembre de 2003, Duebendorf, Suiza.

EAWAG/SANDEC
1999 "Household-centred environmental sanitation", Report of the Hilterfingen workshop on Environmental Sanitation in the 21st century, del 15 al 19 de marzo de 1999.

———
2002 *Solar water disinfection. A guide for the application of SODIS*, SANDEC/EAWAG, Duebendorf, Suiza.

———
2003 *SODIS. Desinfección solar del agua. Guía de aplicación.*- SANDEC/EAWAG, Duebendorf, Suiza (traducción de la publicación en inglés).

ELLWART, H.-B.
2000 "Niederschlagswasser oekologisch orientiert bewirtschaften", wwtawt N° 2/2000, pp. 46 - 48, Berlín, Alemania.

EMSCHERGENOSSENSCHAFT
1993 "Wohin mit dem Regenwasser? Arbeitshilfe fuer einen oekologisch ausgerichteten Umgang mit Regenwasser in Baugebieten", en Materialien zum Umbau des Emschersystems 7, Essen-Gelsenkirchen, Alemania.

[s/f] *Die Route des Regenwassers*, Stern-Druck, Essen, Alemania.

EMSCHERGENOSSENSCHAFT & LIPPEVERBAND
[s/f] *Regenwasser in der Stadt. Ratgeber zur Versickerung, Entsiegelung, Dachbegruenung und Regenwassernutzung*, MargreffDruck GmbH, Essen, Alemania.

ENCINAS, J. P.; M. Iriarte; M. Wegelin & G. Toranzos
2002 "Evaluación de la eficiencia del método SODIS en la iniciativa de coliformes fecales en Bolivia", en Revista ANESAPA, año 2002, pp. 35 - 45, La Paz, Bolivia.

EPA
1992a *Guidelines for water reuse*, Environmental Protection Agency, EEUU.

1992b *Water recycling and reuse: The environmental benefits. Water Division Region IX*, EPA 909-F-98-001, Environmental Protection Agency, EEUU.

ESREY, S.; J. Gough; D. Rapaport; R. Sawyer; M. Simpson-Hébert & J. Vargas
2001 *Saneamiento ecológico*, U. Winblad (ed.), 2da edición, ASDI, México.

EUGSTER, W. & R. Burkard
2003 "Nebel ist auch Wasser", en Die Alpen 11, pp. 35 - 37, Bern, Suiza.

FAHLBUSCH, H.
2007 "Water and its use in early history", en Lozan, J. L. *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 77 - 82, Hamburgo, Alemania.

fbr *et al.* (eds.)
2001 "Kombination von Regenwassernutzung und Dachbegruenung", en fbr-top 7, agosto de 2001, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), Darmstadt, Fachvereinigung Bauwerksbegruenung (FBB), Ditzingen, Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau (BGL), Bad Honnef, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL), Bonn, Alemania.

2001 "Trinkwasserverordnung und Regenwassernutzung aus Sicht bundesdeutscher Ministerien", en fbr-top aktuell, marzo de 2003, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), Darmstadt, Fachvereinigung Bauwerksbegruenung (FBB), Ditzingen, Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau (BGL), Bad Honnef, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL), Bonn, Alemania.

FIRU
1990 *Beruecksichtigung stadtoekologischer Forderungen in der Bebauungsplanung nach dem BauGB*, informe de resultados sobre el proyecto de inves-

tigación del Ministerio Federal de Construcciones, Kaiserslautern, Alemania.

FRANKEN, M. & R. Eguivar
2000 *Inodoros ecológicos*, Proyecto Cuidado del Medio Ambiente, Fundación Eco Pueblo Calamarca, La Paz, Bolivia.

FRANZEN, R.
2003 "Pflanzenklaeranlagen im Mischsystem aus Sicht des Landesamtes fuer Umweltschutz", en Memorias EVS del Seminario del Entsorgungsverband Saar, noviembre de 2003, Saarbruecken, Alemania.

FRASSINETTI, P.
2003 *Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions*, Universidad de Wageningen, Países Bajos.

FREIE UND HANSESTADT HAMBURG
2000 *Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung*, Umweltbehoerde (Oficina de Medio Ambiente), Hamburgo, Alemania.

———
2001 *Gewaesser in Hamburg. Planen, bauen, verwalten*, informe 2001, Behoerde fuer Bau und Verkehr, Amt fuer Wasserwirtschaft, Hamburgo, Alemania.

GAJUREL, D. R.; J. Behrendt; Z. Li & R. Otterpohl
2004 "Investigation on effectiveness of Rottebehaelter for pre-treatment of brown water in source control sanitation", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 511 - 514, Luebeck, Alemania.

GARCÍA B., A. (ed.)
2001 *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*, Mc GrawHill / Interamericana de España, Madrid, España.

GEIGER, W. F.
2001 "Think global, act local", en Dreiseitl, H.; D. Grau & K. H. C. Ludwig (eds.), *Waterscapes. Planning, Building and Designing with water*, pp. 72 - 105, Edit. Birkhaeuser, Basel-Berlin-Boston.

GEIGER, W. & H. Dreiseitl
2001 *Neue Wege fuer das Regenwasser*, 2da edición, Edit. Oldenbourg, Munich, Alemania.

GLEICK, P. H.
1996 "Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs", en Water International 21, pp. 83 - 92.

GLEICK, P. H.; D. Haasz; Ch. Henges-Jeck *et al.*
2003 *Waste not, want not: The potential for urban water conservation in California*, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Oakland, EEUU, (<www.environmental-center.com/articles/article1395/waste_not_want_not_full_report.pdf>).

GRANT, M.; G. Hill; C. Hollbrook; P. Lymburner; A. Mctavish & A. Sundby
2002 *Water management and waste water treatment at the University of British Columbia: A study for sustainable alternatives*, Universidad de British Columbia, Vancouver, Canadá.

GROTEHUSMANN, D.
1999 *Bodenfilter. Gesamtueberblick ueber den Stand der Technik*, Bodenfilterseminar, Alemania.

GTZ
2002 Brochure ECOSAN, Eschborn, Alemania.

———
2003 Boletín ECOSAN N° 8/2003 (< www.gtz.de/ecosan >).

GUI, P.; R. Inamori; W. Zhu; M. Mizuochi & Y. Inamori
2004 "Investigation of constructed wetland performance considering water reusing", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 667 - 668, Luebeck, Alemania.

GULYAS, H.
2000 "Gefrierkonzentration zur Wertstoffgewinnung aus Gelbwasser", en XII Coloquio y Curso de Capacitación, del 4 al 8 de septiembre de 2000, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 30, pp. 67 - 86, Hamburgo, Alemania.

HALLER, B.
1999 "Grundsaetze und konstruktive Hinweise zum Bau von Bodenfilterbecken", en Bodenfilterseminar, pp. 1 - 16, Alemania.

HEERENKLAGE, J. & R. Stegmann
2004 "Concept for decentralized waste and wastewater treatment", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 515 - 518, Luebeck, Alemania.

HESSE, T.
2002 "Erfahrungsberichte aus dem Oekotechnik-Park Hannover", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 95 - 112, Darmstadt, Alemania.

HIESSL, H.
2001 "La demanda de agua – un concepto en transformación", en Rudolph, K.-U. & T. Bock (eds.), *El sector hidrológico en Alemania. Métodos y expe-*

riencias, pp. 44 - 58, Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, Bonn y Oficina Federal de Medio Ambiente, Berlín, Alemania.

HIESSL, H. & D. Toussaint
2002 "Szenarien urbaner Wasserinfrastruktursysteme - Perspektiven fuer eine langfristige Modernisierung", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 47 - 55, Darmstadt, Alemania.

———
2004 "Options for sustainable urban water infrastructure systems: Results of the AKWA 2100 project", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 757 - 758, Luebeck, Alemania.

HO, G.; M. Anda; K. Mathew; S. Dallas & G. Priest
2003 "Sustainable sanitation developments at the Environmental Technology Centre Perth Western Australia", en Conferencia en el 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, Luebeck, Alemania.

HOEGLUND, C.
2001 *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine*, Tesis doctoral, KTH, Estocolmo, Suecia.

"Informe corto proyecto ECOSAN - Koulikoro/Malí" (<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>).

IPP-CONSULT
2002 "Sewage sludge conversion in Egypt", Resumen del reporte final (<www.gtz.de/ecosan/download/IPP-Aegypten.pdf>).

JAHN, S.
1981 *Traditional water purification in tropical developing countries*, German Agency for Technical Cooperation, Eschborn, Alemania.

JENKINS, J. C.
1999 *The Humanure Handbook*, Jenkins Publishing, P.O. Box 607, Grove City, PA 16127, Tel. 1-800-639-4099, <www.jenkinspublishing.com>.

JIANG, L.
2002 "ECOSAN development in Guangxi, China", en Proceedings of the First International Conference on Ecological Sanitation, del 5 al 8 de noviembre, Nanning, China.

JOENSSON, H.
2004a "The role of ECOSAN in achieving sustainable nutrient cycles", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 35 - 40, Luebeck, Alemania.

———— 2004b "Model city urban enclave in urban water - does ECOSAN improve sustainability of the sewage system?", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 773 - 777, Luebeck, Alemania.

KALBERMATTEN, J.; R. Middleton & R. Schertenleib
1999 *Household-centred environmental sanitation*, EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Suiza.

KELLNER, C. & A. Leuta
2004 "Decentralized wastewater treatment in Lesotho", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 943 - 945, Luebeck, Alemania.

KINZELBACH, W.; P. Bauer & T. Siegfried
2007 "Sustainable water resources management in arid and semi-arid regions", en Lozan, J. L. *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 291 - 295, Hamburgo, Alemania.

KLAUS, U.
2002 "Null-Emissionskonzept - Projekt Sassnitz Ruegen", en Oekologische Sanitaerkonzepte Contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 89 - 93, Darmstadt, Alemania.

———— 2004 "Zero emission concept for water and wastewater management, project Ruegen, Germany", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 723 - 726, Luebeck, Alemania.

KLUGE, T.
2000 *Wasser und Gesellschaft*, Edit. Leske und Buderich, Opladen, Alemania.

KLUGE, T. & E. Schramm
1988 *Wassernoete. Zur Geschichte des Trinkwassers*, Edit. Koelner Volksblatt, Koeln, Alemania.

KOENIG, K. W.
1996 *Regenwasser in der Architektur: Oekologische Konzepte*, Edit. Oekobuch, Staufen, Alemania.

———— 2000 *Kostenlose Regenspeicher*, Edit. Mall Umweltsysteme, Donaueschingen-Pfohren, Alemania.

———— 2001a "Japanische Visionen", en fbr-wasserspiegel N° 6 (4), pp. 24 - 25, Darmstadt, Alemania.

———— 2001b *The rainwater technology handbook. Rainharvesting in building (includes materials and tools for planning and design)*, Edit. Wilo, Dortmund, Alemania.

———— 2003 "Internationale Erfahrungen mit der Regenwasserbewirtschaftung", en Umweltpraxis N° SH 1/2003, pp. 7 - 11, Wiesbaden, Alemania.

KOHFAHL, C.; G. Massmann & A. Pekdeger
2007 "Fossil and young groundwater as components of the hydrological cycle", en Lozan J. L. *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 67 - 71, Hamburgo, Alemania.

KONÉ, D.
2007 "Excreta and wastewater management contributing to cities' economic development - a paradigm shift", en SANDEC News N° 8, pp. 8 - 9, Zúrich, Suiza.

KOPPETSCH, J. & S. Pape
1996 "Neue Behandlungsverfahren von Mischwasser", en Tagungsband, Kolloquium zum Schwerpunkt Regenwasser, del 12 al 16 de agosto de 1996, Hamburgo, Alemania.

KRUSCHE, P.; M. Krusche; D. Althaus & I. Gabriel
1982 *Oekologisches Bauen*, ed. Umweltbundesamt Alemania, Edit. Bauverlag GMBH, Wiesbaden, Berlín, Alemania.

KUNST, S. & H. Von Seggern
2003 *Abwasserreinigung in verstaedterten Orten*, informe final del estudio, Universidad de Hannover, Alemania.

LAGA
1997 *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfaellen - Technische Regeln*, Mitteilungen der Laenderarbeits-gemeinschaft Abfall 20 (6 de noviembre de 1997), Bonn, Alemania.

LANDESHAUPTSTADT HANNOVER - DER OBERSTADTDIREKTOR-UMWELTDEZENAT (ed.)
1994 *Leitlinien fuer den Umgang mit Regenwasser in Baugebieten*, Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz 3, 3ra edición, Hannover, Alemania.

LANGE, J. & R. Otterpohl
2000 *Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfaehigen Wasserwirtschaft*, en Oekologie aktuell, Edit. MALLBETON GmbH, Donaueschingen-Pfohren, Alemania.

LARSEN, T. H.
2000 "Massnahmen an der Quelle - auch im Haushalt", en EAWAG news N° 48, pp. 6 - 7, Duebendorf, Suiza.

LECHNER, M. & G. Langergraber
2004 "Cost comparison of conventional and modern sanitation solutions", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 211 - 218, Luebeck, Alemania.

LEHN, H.
2002 "Ist unser Umgang mit Trink- und Abwasser noch zeitgemaess?", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 7 - 26, Darmstadt, Alemania.

LIENERT, J. & T. A. Larsen
2004 "Introducing urine separation in Switzerland: Novaquatis, an interdisciplinary research project", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 891 - 899, Luebeck, Alemania.

LONDONG, D.
1996 "Versickerung von Regenwasser", Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, Análisis de Aguas Servidas y Calidad de Aguas, del 12 al 16 de agosto de 1996, Universidad Técnica de Hamburgo (TUHH), Alemania, en Coloquio sobre Aguas Pluviales como Tema Principal, pp. 27 - 30, Hamburgo, Alemania.

LOZAN, J. L.; H. Grassl; P. Hupfer; L. Menzel & C.-D. Schoenwiese
2007 *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, Hamburgo, Alemania.

LUDWIG, A.
1994 *Create an oasis with greywater*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU.

———
1995 *Builder's greywater guide. Installation of greywater systems in new construction and remodeling*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU.

———
2002 *Branched drain greywater systems guide*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU.

MALMEN, L.; O. Palm & E. Norin
2004 "Sanitation of blackwater and and organic material", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 635 - 638, Luebeck, Alemania.

MANISH TIWARI, D.
2000 "Rainwater harvesting - Standing the test of drought", en Down to Earth, Vol. 8, N° 16, Centre for Science and Environment, Delhi, India.

MANN, G.
2003 "Retentionsverhalten begruenter Daecher", en Umweltpraxis N° SH 1/2003, pp. 26 - 27, Wiesbaden, Alemania.

MANNESMANN
[s/f] Brochure de la empresa, Duesseldorf, Alemania.

MARA, D.
1997 *Design Manual for Waste Stabilization Ponds in India*, Lagoon Technology International Ltd., Leeds, Inglaterra.

MEHLHARDT
1999 "Internationale Entwicklungen zum Grauwasser-Recycling", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr N° 5, pp. 131 - 154, Darmstadt, Alemania.

METCALF, R.
2002 "The science of safe water", en Solar Cooker Review Vol. 8, N° 3, pp. 1 y 6 - 8, Solar Cookers International, Sacramento, California.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y SERVICIOS BÁSICOS
2001 *La letrina abonera seca familiar LASF. Manual de capacitación para facilitadores y visitadores*, PROSABAR/FIS, La Paz, Bolivia.

MINISTERIUM FUER UMWELT UND VERKEHR BADEN WUERTTEMBERG
[s/f] *Naturvertraegliche Regenwasserbewirtschaftung. Leitfaden fuer Planer, Ingenieure, Architekten, Kommunen und Behoerden*, Stuttgart, Alemania.

MOREL, A.
2003 "Alternative Ansaetze der Siedlungshygiene in Entwicklungslaendern", en Siedlungsentwaesserung im Wandel, EAWAG-News N° 57d, pp. 18 - 20, Duebendorf, Suiza.

MUEHLECK, R.; A. Grangler & M. Jekel
2004 "Ecological assessment of ecosan concepts and conventional wastewater systems", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 733 - 740, Luebeck, Alemania.

MUELLEGER, E.; G. Langergraber; H. Jung; M. Starkl & J. Laber
2004 "Potentials for greywater treatment and reuse in rural areas", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 799 - 802, Luebeck, Alemania.

MURISIM
1998 *Mulden-Rigolen-System (Modellbeschreibung)*, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (IPS), Dahlwitz-Hoppegarten, Alemania.

NIEDERSTE-HOLLENBERG, J. & R. Otterpohl
2000 "Innovative Entwaesserungskonzepte", en wwt awt N° 02/2000, pp. 23 - 26, Berlín, Alemania.

NIEDERSTE-HOLLENBERG, J.; J. Behrendt; B. Lindner; M. Shalabi & R. Otterpohl
2004 "Evaluation of techniques for concentrating nutrients in human urine collected in ecological sanitation systems", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 519 - 522, Luebeck, Alemania.

NOLDE, E.
1999 "Qualitaetsanforderungen und hygienische Aspekte beim Grauwasser-Recycling", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr N° 5, pp. 131 - 154, Darmstadt, Alemania.

———
2002 "Zukuenftige Entwicklungen in der Betriebs- und Regenwassernutzung", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 27 - 40, Darmstadt, Alemania.

NOVAQUATIS
[s/f] *Das NoMix WC. Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft*, EAWAG, Duebendorf, Suiza.

OLDENBURG, M.; J. Niederste-Hollenberg; A. Bastian & G. Schirmer
2004 "Nutrient utilization by urine separation – experiences from the Lambertsmuehle project", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 269 - 275, Luebeck, Alemania.

OLDENBURG, M. & R. Otterpohl
2002 "Alternative Sanitaerkonzepte - Praxisbeispiele", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 27 - 40, Darmstadt, Alemania.

ORTNER, C.
2001 "Wasserbeschaffungsverband Baldham", en Spanien und Rio Tajo, pp. 31 - 59, Edit. Chemisches und Biologisches Labor Dr. Feierabend, Ueberlingen, Alemania.

OTTERPOHL, R.
1999 "Teilstrombehandlung in der kommunalen Abwassertechnik", en Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft N° 33, pp. 64 - 82, 11. Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 6 al 10 de septiembre de 1999, Hamburgo, Alemania.

OTTERPOHL, R. & M. Oldenburg
2007 "Ecological sanitation: Innovative sanitation systems for urban and peri-urban areas, high- and low-tech options with resources recovery", en Lozan *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 296 - 301, Hamburgo, Alemania.

PABSCH, J.; H. Pabsch & A. Purrmann
2004 "Sewage sludge humification in a sequential conversion procedure", en

Memorias del 2do. Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 615 - 622, Luebeck, Alemania.

PALMQUIST, H. & H. Joensson
2004 "Urine, faeces, greywater, and biodegradable solid waste as potential fertilizers", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 587 - 594, Luebeck, Alemania.

PATHAK, N.
2001 "Rainwater harvesting in India", en fbr-wasserspiegel N° 4/01, pp. 18 - 20, Darmstadt, Alemania.

PETER-FROEHLICH, A.
2003 Presentación Power Point: "Proyecto Piloto Stahnsdorf, Fase I", Berliner Wasserbetriebe, Berlín, Alemania.

PETER-FROEHLICH, A.; I. Kraume; A. Lesouef & M. Oldenburg
2003 Presentación Power Point: "Separate discharge and treatment of urine, faeces and greywater. Pilot Project", World Water & Environmental Resources Congress, del 23 al 26 de junio de 2003, Philadelphia, EEUU.

PINSEM, W. & B. Vinneras
2004 "Composting with human urine", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 607 - 614, Luebeck, Alemania.

POPP, W.
2001 "Wo stehen wir heute mit der Hygienisierung von Abwasser?", en el XIII Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 11 al 13 de septiembre de 2001, en Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 32, pp. 142 - 161, Hamburgo, Alemania.

QINGKUI, L. *et al.*
2000 "Fertilizer Problem in Sustained Agricultural Development in China", en Chemical Industry Press 2000, pp. 13 - 114.

REESE, S. & A. Fichtner
2003 *Entwaesserungssicherheit und Entwaesserungskomfort*, Umweltreport Wirtschaftsraum Hamburg, Hamburgo, Alemania.

RE-NATUR GMBH
2003 *re-natur. Ein Stueck Natur zurueckgeholt*, Brochure de re-natur, Stolpe, Alemania.

REUSSIG, F.
2000 "Knappes Nass", en Schriftenreihe Forum, Vol. 9: *Elemente des Natur-*

haushalts I: Wasser, pp. 124 - 136, Edit. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, Alemania.

RUDOLPH, K.-U. & T. Bock
2001 *El sector hidrológico en Alemania. Métodos y experiencias*, Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, Bonn y Oficina Federal de Medio Ambiente, Berlín, Alemania.

RUEDEN, H.; H. DIESTEL & M. SCHMIDT
[s/f] *Aufbereitung und Nutzung von Niederschlagswasser aus dem œffentlichen Regenwasserkanal*, tríptico, Technische Universitaet Berlin, Berlín, Alemania.

SALAS, J. C.
2003 "Regenwassernutzung - was muss die Politik tun?", en Umweltpraxis N° SH 1/2003, pp. 15 - 16, Wiesbaden, Alemania.

SAWYER, R.; A. Delmaire & A. A. Buenfil
2004 "Holistic ecosan small-town planning: The TepozEco pilot program", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 279 - 286, Luebeck, Alemania.

SCHEELE, U. & S. Malz
2007a "Water demand and water use in the domestic and industrial sectors - An overview", en Lozan *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 95 - 99, Hamburgo, Alemania.

———
2007b "Water saving: Measures, concepts and technologies in the urban, industrial and in the agricultural sector", en Lozan *et al.* (eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 281 - 285, Hamburgo, Alemania.

SCHEER, M. & S. Kimmich
1999 "Einfuehrung in das Thema Grauwasser-Recycling", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr N° 5, pp. 21 - 50, Darmstadt, Alemania.

SCHEMENAUER, R.S. & P. Cereceda
1994 "Fog collection's role in water planning for developing countries", en Natural Resources Forum (Revista ONU), Vol 18, N° 2, pp. 91-100.

SCHERTENLEIB, R.
2000 "The Bellagio principles and a household centred approach in environmental sanitation", en ECOSAN - closing the loop in wastewater management and sanitation, Proceedings of the International Symposium, 30 y 31 de octubre de 2000, Bonn, Alemania.

SCHERTENLEIB, R. & W. Gujer
2000 "Auf dem Weg zu neuen Strategien in der Siedlungswasserwirtschaft", en EAWAG news N° 48, pp. 3 - 5, Duebendorf, Suiza.

SCHERTENLEIB, R.; A. Morel; J. Kalbermatten & D. Saywell
2003 *Guidelines for the implementation of the Bellagio Principles and the household-centred environmental sanitation approach (HCES)*, EAWAG, Duebendorf, Suiza.

SCHMIDT, M.
2003a *Aufbereitung und Nutzung von Niederschlagswasser aus dem Regenkanal im stadtoekologischen Modellvorhaben Belss-/Luedeckestrasse in Berlin-Lankwitz*, Informe preliminar sobre el uso de aguas pluviales, Technische Universitaet Berlin, Berlín, Alemania.

———
2003b "Rain water harvesting in Germany. New concepts for reducing the consumption of drinking water, flood control, and improving the quality of surface waters and the urban climate", conferencia inédita, Technische Universitaet Berlin, Berlín, Alemania.

SCHRAMM, E.
1999 "Strategien kuenftiger Wassernutzung", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr N° 5, pp. 7 - 20, Darmstadt, Alemania.

———
2000 "Am Bild des Kreislaufs. Perspektiven fuer den staedtischen Umgang mit Wasser", en Schriftenreihe Forum, Vol. 9, *Elemente des Naturhaushalts I: Wasser*, pp. 344 - 353, Edit. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, Alemania.

SCHUMACHER, E. F.
1973 *Small is beautiful. Economics as if people mattered*, Londres, Inglaterra (publicación original).

———
1999 *Small is beautiful. Economics as if people mattered*, Edit. Hartley and Marks, EEUU, con comentarios.

SENATSVERWALTUNG FUER BAU- UND WOHNUNGSWESEN
1995 *Betriebswassernutzung in Gebaeuden*, Auswertung der Berliner Modellvorhaben und der Betriebswassertagung vom 9. Februar 1995, Berlín, Alemania.

SENATSVERWALTUNG FUER BAUEN, WOHNEN UND VERKEHR & WOHNUNGSBAUGESELLSCHAFT HELLERSDORF (Eds.)
1998 *Wasser ist Leben. Regenwasserbewirtschaftung im Schweriner Hof*, proyecto de investigación: Fertigstellung der Grosssiedlung Hellersdorf unter oekologischen Aspekten, parte del proyecto modelo: Schweriner Hof, Berlín, Alemania.

SENATSVERWALTUNG FUER BAUEN, WOHNEN UND VERKEHR
[s/f] *Rundfahrt Oekologisches Bauen und Planen*, Lebenswert Bauen, Berlín, Alemania.

SENATSVERWALTUNG FUER STADTENTWICKLUNG
2002 *Massnahmenkatalog Reduzierung der Wasserkosten im oeffentlichen Bereich*, Berlín, Alemania.

SENATSVERWALTUNG FUER STADTENTWICKLUNG
2003 *Innovative Wasserkonzepte. Betriebswassernutzung in Gebaeuden*, Berlín, Alemania.

SESP
2003 "The history of the Bellagio principles and the HCES approach", en Strategic Environmental Sanitation Planning, EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Suiza, <www.sandec.ch/EnvironmentalSanitation/SESP>.

SHALABI, M.; D. R. Gajurel & R. Otterpohl
2003 "Vermicomposting of sieved blackwater using Rottebehaelter system", <www.gtz.de/ecosan>, <www.tu-harburg.de>.

SHANYENGANA, E. S.; R. D. Sanderson; M. K. Seely & R.S. Schemenauer
2003 "Testing greenhouse shade nets in collection of fog for water supply", en Journal of water supply: Research and Technology Vol. 52, N° 3, 237 - 241, Londres, Inglaterra.

SHIKLOMANOW, I. A.
2001 "Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World", en UNESCO-Kurier N° 10/2001, <www.unesco-heute.de>.

SIEKER, F.
2003 "Introducción", en Regenwasserbewirtschaftung, en Umweltpraxis N° SH1/2003, p. 1, Wiesbaden, Alemania.

SIEKER, F. & F. Panning
2000 "Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungs- und Gewerbegebieten", en Umwelt, pp. 127 -137, Berlín, Alemania.

SIEKER, H.; F. Sieker; M. Grottker & H. Wassmann
2004 "Nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten", en W. Wagner & J. Schumacher (Eds.), *Abwassertechnik und Gewaesserschutz*, Capítulo 5250, Edit. C. F. Mueller, Heidelberg, Alemania.

SIMONS, J. & J. Clemens
2004 "The use of separated human urine as mineral fertilizer", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 595 - 600, Luebeck, Alemania.

SINAQUA WATERLESS SYSTEM GmbH, <www.sinaqua-waterless.de>.

SOLAR BOX COOKERS INTERNATIONAL NEWSLETTER
1992 "Cómo construir el aparato de la purificación de agua (APA)", en Solar Box Cookers International Newsletter, Solar Cookers International, Sacramento, California.

SOLAR COOKER REVIEW
2003 Solar Cooker Review, Vol. 9, N° 1, p. 11, Solar Cookers International, Sacramento, California.

SPAETH, L. & V. Zang
2002 "Anwendungsbeispiele der Vakuum-Technik", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 67 - 74, Darmstadt, Alemania.

SPERFELD, D. & E. Nolde
2004 "Rainwater harvesting, water re-utilisation and ecological sanitation - further developments", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 111 - 114, Luebeck, Alemania.

STADTENTWAESSERUNG HANNOVER
[s/f] *Waterconcept Kronsberg*, parte del EXPO-Proyecto: Ecological Optimization Kronsberg, Hannover, Alemania.

STOREK, H.
2003 "Wasser intelligent zweimal nutzen", en Umweltpraxis N° SH 1/2003, pp. 28 - 29, Wiesbaden, Alemania.

SUKOPP, H. & R. Wittig (Eds.)
1998 *Stadtoekologie*, Edit. Fischer, Stuttgart, Jena, Luebeck, Ulm, Alemania, 2da edición modificada y ampliada.

TALLER INTERNACIONAL SANEAMIENTO ECOLÓGICO
2003 *Informe Técnico*, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

TEGGE, K.-T.
1999 "Strassenabwasser-Behandlnngsanlagen: aktuelle Beispiele in Hamburg", en XI Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 6 al 10 de septiembre de 1999, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 23, p. 27, Hamburgo, Alemania.

TORRICO, E.
2004 *Letrinas sanitarias*, informe inédito, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, La Paz, Bolivia.

TOURBIER, J. T.
2000 "Umfassende Niederschlagsbewirtschaftung - Innovative Projekte", XII Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 4 al 8 de septiembre de 2000, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 30, pp. 20 - 32, Hamburgo, Alemania.

UFA FABRIK
1999a "Prima Klima und saubere Luft - Die Dachbegruenung", en UFA fabrik Oekologie Projekte 98/99, pp. 14 - 15, Berlín, Alemania.

1999b "Trinkwasser - zum Spuelen zu kostbar", en UFA fabrik Oekologie Projekte 98/99, pp. 16 - 17, Berlín, Alemania.

UHL, M.
1999 "Regenwasser in der Stadt und in der Landschaft", en Oekologisches Bauen - Phase II, Thesis - Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universitaet Weimar Vol. 45, N° 1, pp. 28 - 40, Weimar, Alemania.

2002 "Retentionsbodenfilter zur biologischen Behandlung von Mischwasser", en Wasser und Abfall N° 4, pp. 26 - 30, Wiesbaden, Alemania.

2003 *Regenwasserbewirtschaftung im staedtebaulichen Kontext. EXPO-Siedlung Kronsberg, Langenhagen-Weiherfeld, Berlin-Adlershof*, informe inédito, Ingenieurgesellschaft fuer Stadthydrologie mbH, Hannover/Berlín, Alemania.

UHL, M. *et al.*
2003a *Retentionsbodenfilter - Handbuch fuer Planung, Bau und Betrieb*, Ministerium fuer Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) del Estado Federal Nordrhein-Westfalen, Duesseldorf, Alemania.

UHL, M.; L. Schiedt; G. Mann & M. Henneberg
2003b "Langzeitstudie zum Abflussverhalten begruenter Daecher", en Wasser und Boden Vol. 55, N° 3, pp. 28 - 36, Wiesbaden, Alemania.

UMWELTBUNDESAMT
2001 *Ohne Wasser laeuft nichts*, Brochure del Umweltbundesamt, Berlín, Alemania.

VAN DER MEULEN, R. J.; C.L. Moe & E.D. Breslin
2004 "Ecological sanitation in Mozambique: Baseline data on acceptability, use and performance", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 183 - 190, Luebeck, Alemania.

VINNERAS, B.; H. Joensson; E. Salomon & A. Richert-Stinzing
2004 "Tentative guidelines for agricultural use of urine and faeces", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, pp. 101 - 108, Luebeck, Alemania.

VOSS, K.
1999 "Niederschlagsversickerung und Bodenschutz. Zwei miteinander unvertraegliche Massnahmen?", en XI Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 6 al 10 de septiembre de 1999, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 23, pp. 18 - 26, Hamburgo, Alemania.

2000 "Ueberlegungen fuer fachliche Voraussetzungen zur Freistellung von Regenwassereinleitungen von der Erlaubnispflicht", en XII Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 4 al 8 de septiembre de 2000, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 30, pp. 1 - 16, Hamburgo, Alemania.

VYZAMAL, J.; H. Brix; P. F. Cooper; M. B. Green & R. Haberl
1997 *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, Países Bajos.

WAGNER, W.
2003a "Pflanzenklaeranlagen", en W. Wagner & J. Schumacher (Eds.), *Abwassertechnik und Gewaesserschutz*, Capítulo 7210.1, Edit. C. F. Mueller, Alemania.

2003b *Einsatz von unbelueftetem Teichanlagen insbesondere unter dem Gesichtspunkt ihres Einsatzes in Laendern der Dritten Welt*, informe inédito.

2004 "Erfahrungen bei Pflanzenklaeranlagen und Retentionsbodenfiltern mit Mischwasserbeschickung unter Kostengesichtspunkten", en Memorias del Simposio 3. Regenwassertage, del 14 al 15 de junio, pp. 143 - 187, Universidad de Trier, Alemania.

WERNER, C.; J. Schlick & H.-P. Mang
2002 "Oekologische Sanitaerkonzepte in der deutschen Entwicklungszusammenarbeit", en Oekologische Sanitaerkonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung?, en Schriftenreihe fbr N° 9, pp. 113 - 124, Darmstadt, Alemania.

WERNER, C.; B. Bracken; P. A. Fall; J. Schlick & H.-P. Mang
2003 Presentación Power Point: "Ecological sanitation - principles, technologies and project examples", proyecto GTZ - ECOSAN, JICA wastewater workshop, 12.9.2003, Tokyo, Japón.

WERNER, C.; H.-P. Mang & V. Kessen
2004a "Key activities, services and current pilot projects of the international ecosan programme of GTZ", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 75 - 91, Luebeck, Alemania.

WERNICKE, G.
2000 "Umgang mit Niederschlagswasser in Hamburg", en XII Coloquio y Curso de Capacitación sobre Técnicas de Aguas Servidas, del 4 al 8 de septiembre de 2000, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 30, pp. 17 - 19, Hamburgo, Alemania.

WESSOLEK, G. & M. Renger
1998 "Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt", en H. Sukopp & R. Wittig (Eds.), *Stadtoekologie*, pp. 186 - 200, Edit. Fischer, Stuttgart, Jena, Luebeck, Ulm, Alemania, 2da edición modificada y ampliada.

WETZEL, R. G.
2003 "Salvaging our water commons: Greatest threat to humanity", en Circular Anual, enero de 2003, SIL (Societas Internationalis Limnologiae Theoreticae et Applicatae).

WHO
2006 *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, 4 volúmenes, World Health Organization, Ginebra, Suiza.

WINBLAD, U.
2001 *Report on First International Conference on Ecological Sanitation*, 5 al 8 de noviembre de 2001, Nanning, China.

———
2002 *Final Report SanRes 1993 - 2001*, Estocolmo, Suecia.

WINBLAD, U. & M. Simpson-Hébert
2004 *Ecological sanitation*, edición revisada e incrementada, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.

WIRBELAUER, C.; E. D. Breslin & E. Guzha
2004 "Lessons learnt on ecosan in Southern Africa - Towards closed-loop sanitation?", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, pp. 135 - 142, Luebeck, Alemania.

WOEHRLE, D.; R. Gerdes & R. Guder
2003 "Fotokatalytische Wasseraufbereitung", en Impulse N° 1/2003, pp. 1 - 4, Universidad de Bremen, Alemania.

WYSS, P.; B. Zuest; D. Guenat & G. Ducommun
2000 *Sustainable wastewater treatment with soil filters*, Center for Applied Ecology Schattweid; Swiss Agency for Development and Cooperation; Swiss Center for Development in Technology and Management, Suiza.

XANTHOPOULOS, C. & M. Schaefer
1996 *Belastung des Regens und des Regenabflusses*, Tagungsband, Kolloquium zum Schwerpunkt Regenwasser, del 12 al 16 de agosto de 1996, Hamburgo, Alemania.

XANTHOULIS, D. *et al.*
2004a "Sustainability and optimization of treatments and use of wastewater for irrigation in mediterranean countries", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 663 - 666, Luebeck, Alemania.

XANTHOULIS, D.; P. Dumont & M. Wauthelet
2004b "Epuvalisation: a developing technique. Experiences, results in different countries", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 527 - 530, Luebeck, Alemania.

XIANGHONG, L. & L. Jiang
2004 "Comparison of sanitation latrines used in China", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 779 - 784, Luebeck, Alemania.

XIANGYUN, Y. & W. HAI
2004 "Integrated systems on biogas production, non-polluted agricultural production, and sanitation in rural China", en Memorias del 2do Simposio Internacional ECOSAN, del 7 al 11 de abril de 2003, pp. 601 - 606, Luebeck, Alemania.

ZEISEL, J.
1999 "Rotationstauchkoerper-Anlage Fa. Lokus", en Grauwasser-Recycling, en Schriftenreihe fbr N° 5, pp. 97 - 130, Darmstadt, Alemania.

Direcciones electrónicas

<www.akwasser.de>
<www.aquacycle.de>
<www.attac.de>
<www.atv.de>
<www.bioloo.co.nz>
<www.bodenfilter.de/bodenfilter.htm>
<www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/numero2/articulos/articulo2.html>
<www.dreiseitl.de>
<www.ecocity-programme.org/newssan.htm>
<www.envirolet.com>
<www.flintenbreite.de>
<www.fogquest.org>
<www.fundacionsodis.org>
<www.greywater.com.au>
<www.gtz.de/ecosan>
<www.gtz.de/ecosan/download/documentation-ecosan-SA.pdf>
<www.gtz.de/ecosan/download/IPP-Aegypten.pdf>
<www.gtz.de/ecosan/download/Mali-Koulikoro-dt.pdf>

<www.irc.nl>
<www.lambertsmuehle-burscheid.de>
<www.legio.de>
<www.mallnet.de>
<www.nationalwatercenter.org/george_ann_article.htm>
<www.oasisdesign.net/greywater/indoorreuse.htm>
<www.oeko-technik-park.de>
<www.pbs.org/pov/pov2004/thirst/special_harvesting_02.html>
<www.re-natur.de>
<www.riles.org>
<www.roevac.de>
<www.sandec.ch/EnvironmentalSanitation/SESP>
<www.sinaqua-waterless.de>
<www.sodis.ch>
<www.system-ernst.de>
<www.thenaturalhome.com>
<www.tu-harburg.de>
<www.urbanwater.org>
<www.urimat.de>
<www.wasserlose-urinale.de>
<www.wasserstiftung.de/ wasserprojekte_akt.html>
<www.watercone.com>
<www.weblife.org/humanure/default.html>
< www.wupperinst.org/FaktorVier/praxisbeispiele/urinale-kurz.html>

Información adicional

(Bibliografía recomendada, sitios web, direcciones de organizaciones, expertos y proveedores)

Temas

1. Generalidades
2. Uso de aguas pluviales, aguas grises y agua de otras fuentes
3. Manejo de aguas pluviales
4. Agua potable y su purificación
5. ECOSAN - Sanitarios de compostaje, sistemas de riego con aguas grises etc.
6. Humedales artificiales y otros métodos de purificación

* Cada uno de los temas está organizado con la siguiente secuencia de subtítulos:

- Bibliografía recomendada
- Sitios web recomendados
- Direcciones de expertos y organizaciones
- Proveedores

1. Generalidades

– Bibliografía recomendada

BMBF
2001 *International Survey on Alternative Water Systems*, BMBF-Research-Projekt N° 02 WA 0074, Federal Ministry of Education and Research Bonn, Karlsruhe Research Center Technology and Environment, Institute for Scientific Engineering and Management Witten/Herdecke, Alemania, 32 pp.
Contenido: Suministro de Agua, Aguas pluviales, Aguas grises, Ecosan, Estudios de caso internacionales.

MAKSIMOVIC, C. (Ed.)
2001 *Urban drainage in specific climates.*
Vol. I: *Urban drainage in humid climates* (Eds. S. Saegrov; J. Milina; T. Thorolfsson)
Vol. II: *Urban drainage in cold climates* (Ed. C. E. M. Tucci)
International Hydrological Programme IHP V, Technical Documents in Hydrology, N° 40, UNESCO, París, Francia.
Contenido: Manejo de aguas pluviales y drenaje urbano en diferentes zonas climáticas.

PNUMA-CITA (Ed.)
2002 *Environmentally sound technology for wastewater and stormwater management: An international source book*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - Centro Internacional de Tecnologías Ambientales, 640 pp.
Contenido: Manejo sostenible de aguas servidas y aguas pluviales, tecnologías ecológicas.

WHO
2006 *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, 3 volúmenes, Organización Mundial de Salud, Ginebra, Suiza.
Contenido: Nuevos lineamientos para el uso y reuso de aguas servidas, excreta y aguas grises.

– Sitios web recomendados

<www.unesco.org/water>	Naciones Unidas: Agua.
<www.unicef.org/programme/wes>	UNICEF Water, Environment and Sanitation Programme (Programa Agua, Medio Ambiente y Saneamiento).
<www.wateryear2003.org>	Sitio web del Año del Agua 2003.
<www.thewaterpage.com>	Iniciativa independiente. Promoción de manejo sostenible de recursos de agua y uso de agua.

	Desarrollo, uso y protección del agua en África y otras regiones en desarrollo.
<www.worldbank.org>	Información sobre suministro de agua y saneamiento en Latinoamérica y el Caribe.
<www.wsp.org>	Water and Sanitation Program (Programa de Suministro de Agua y Saneamiento del Banco Mundial). También publicaciones sobre proyectos y actividades en la región iberoamericana, entre otros en Bolivia.
<www.agualatina.net>	Boletín electrónico bimestral para América Latina. Todo sobre el sector agua y saneamiento en la red.
<www.aguasegura.org>	Alianza para la promoción del agua segura e higiene en América Latina.
<www.agua.org.mx>	Centro Virtual de Información del Agua de México.
<http://practicalactionpublishing.org>	Revista Waterlines, para tecnologías apropiadas de suministro de agua y saneamiento de bajo costo.
<www.urbanwater.org>	Programa sueco de aguas urbanas "Sustainable Urban Water Management" (Manejo Urbano Sostenible de Aguas). Manejo de aguas pluviales. Tratamiento de lodos de plantas de purificación. Sistemas locales de aguas servidas. Agua potable y otros.
<www.vauban.de>	Urbanización ecológica Vauban, en Freiburg, Alemania. ECOSAN. Manejo de aguas pluviales.
<http://aquamor.tripod.com/>	Sitio web de Peter Morgan, Zimbabwe. ECOSAN. Cosecha de aguas pluviales.

– Direcciones de expertos y organizaciones

IWA (International Water Association) Oficina Central en Londres, UK <www.iwahq.org>	Asociación Internacional del Agua, formada por profesionales especialistas en el área. Cubre todas las facetas del ciclo de agua. Entre otros tienen un grupo de trabajo en ECOSAN.
International Association on Water Quality (IAWQ) 20 Manson's Yard, Duke Str.1 Queen Anne's Gate London SW1Y6BU, UK Tel. 0044-171-839 8390 Fax 0044-171-839 8299 y 171-2223848 y 171-2331197 <iawq@compuserve.com> <www.awq.org.uk/index.htm>	Asociación Internacional del Agua. Informes en las siguientes revistas: – Water Quality International – Water Research – Water Science and Technology
International Water and Sanitation Centre (IRC) Westvest 7 2611 AX Delft, Países Bajos Tel. +31 15 219 2939 Fax +31 15 219 0955 <www.irc.nl>	Fundado en 1968. Facilita la difusión, promoción y uso de conocimientos afines a gobiernos, profesionales y organizaciones.
WSSCC Water Supply and Sanitation Collaborative Council International Environment House Chemin des Anémones 9 1219 Châtelaine Ginebra, Suiza <www.wsscc.org>	Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Organización no Gubernamental, bajo el mandato de las Naciones Unidas: Saneamiento, higiene y servicios de agua.
Water Environment Federation (WEF) 601 Wythe Street, Alexandria, VA, 22314-1994, EEUU Tel. 1-800-666-0206 Fax. 1-703-684-2492 <www.wef.org>	Federación Mundial para la Preservación y el Mejoramiento del Agua y su Ambiente.
WaterAid 2nd floor, 47-49 Durham Street London, SE11 5JD, UK Tel: 0044-845 6000 433 <www.wateraid.org>	Organización de ayuda internacional. Provisión de agua doméstica, saneamiento y educación en higiene para los más necesitados.

Water y Sanitation Programme (WSP) del Banco Mundial Av. Álvarez Calderón 185 San Isidro, Lima 27, Perú Tel. 511- 6150685 Fax: 511 - 615 0689 Coordinador Regional: Francois Brikké <fbrikke@worldbank.org> <wspandean@worldbank.org> <www.wsp.org>	Programa de Agua y Saneamiento (PAS), Oficina Regional para la Región Andina (Bolivia, Perú, Ecuador). Alianza internacional administrada por el Banco Mundial. Soluciones innovadoras para la provisión de servicios sostenibles de agua y saneamiento para las poblaciones de menores recursos. Programa: Development Market Place.
Centers for Disease Control and Prevention (CDC) 1600 Clifton Rd Atlanta, GA 30333, EEUU Tel. 404-639-3311 CDC Contact Center: 800-CDC-INFO • 888-232-6348 (TTY) <www.cdc.gov/nceh/globalhealth>	Centro de Control y Prevención de Enfermedades Programa Water PLUS = Agua MÁS Agua y Saneamiento desde la perspectiva de salud pública ambiental.
International Development Research Center (IDRC) PO Box 8500 150 Kent Street Ottawa Ontario, ON, K1P 0B2, Canadá Tel: (+1-613) 236-6163 Fax: (+1-613) 238-7230 <info@idrc.ca> <www.idrc.ca>	Corporación pública de Canadá para el fortalecimiento de países en desarrollo. Uso de la ciencia y la tecnología para proveer soluciones prácticas y de larga vida. Entre otros: Cambio climático, consumo de agua, cosecha de aguas de neblina. Boletín electrónico.
EAWAG Ueberlandstr 133 Postfach 611 CH-8600 Dübendorf, Suiza <www.eawag.ch> <info@eawag.ch>	Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua. Nuevas tecnologías para sistemas ECOSAN, uso de orina. Sistema SODIS. Tecnologías de membrana para producción de agua potable. Manejo de aguas pluviales. Contaminación de escurrimiento de aguas pluviales.
Ecological Engineering Group 508 Boston Post Road PO Box 415 Weston, Massachusetts 02493-0003, EEUU Tel. 978/369-9440 Toll-free: 866-4-ECOENG <eeginfo@ecological-engineering.com> <www.ecological-engineering.com>	Ahorro de agua y energía. Manejo de aguas pluviales. Tratamiento ecológico de aguas servidas. Concepto de cierre de ciclos para la eliminación de desechos.

SwedEnviro Consulting Group c/o WRS Uppsala AB Östra Ågatan 53 753 22 Uppsala, Suecia Phone: +46 (0)18 17 45 40 Fax: +46 (0)18 17 45 49 <info@swedenviro.se> <www.swedenviro.se>	Asociación de consultores ambientales. Manejo de aguas y suelos. Tratamiento de desechos y aguas servidas. Tratamiento y reciclaje en fuente.
IEES (International Ecological Engineering Society) Dr. Johannes Heeb Zentrum fuer Angewandte Oekologie Bahnhofstr 2 Ch - 6110 Wolhusen, Suiza Tel. 0041-41-4904074 Fax 0041-41-4904074 <info@iees.ch> <www.iees.ch>	Sociedad Internacional de Ingeniería Ambiental, entre otros proyectos ECOSAN. Revista Ingeniería Ambiental.
Institut fuer Sozialoekonomische Forschung ISOE Hamburger Allee 45 D-60486 Frankfurt, Alemania Tel. 0049-69-7076919-0 Fax 0049-69-7076919-11 <info@isoe.de> <www.isoe.de>	Proyectos integrales sobre agua y planificación ambiental sostenible, entre otros. Revista Cultura del Agua.
National Water Center 5473 Hwy 23N Eureka Springs Arkansas AR 72631, EEUU <peace@ipa.net> <www.nationalwatercenter.org>	Sanitarios de compostaje. Manejo de aguas pluviales. Vitalización del agua. Enlaces internet.
The Ecovillage Institute Lookfar Connections The Park Findhorn, Forres IV36 3TZ, UK Escocia <www.lookfar.org>	Asesoramiento en tecnologías de bajo costo: ECOSAN, humedales artificiales y otros.

2. Uso de aguas pluviales, aguas grises y agua de otras fuentes

– Bibliografía recomendada

AGARWAL, A.; S. Narain & I. Khurana
2001 *Making water everybody's business*, CSE, Nueva Delhi, India.
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, concienciación, técnicas, India.

BMBF
2001 *International Survey on Alternative Water Systems*, BMBF-Research-Projekt N° 02 WA 0074, Federal Ministry of Education and Research Bonn, Karlsruhe Research Center Technology and Environment, Institute for Scientific Engineering and Management Witten/Herdecke, Alemania, 32 pp.
Contenido: Suministro de agua, aguas pluviales, aguas grises, ECOSAN, estudios de caso internacionales.

CSE
1997 "Dying wisdom. Rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems", en State of India's Environment N° 4, A. Agarwal & S. Narain (Eds.), Nueva Delhi, India.
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, sistemas tradicionales, India.

GOULD, J. & E. Nissen-Petersen
1999 *Rain water catchment systems for domestic supply. Design, construction and implementation*, Intermediate Technology Publications, Londres, Inglaterra, *isbn* 1 85339 456 4.
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, diseño, construcción, implementación, soluciones de baja tecnología.

HARTUNG, H.
2002 *Rainwater Harvesting*, CD de Margraf Publishers, Weikersheim, Alemania (el CD se puede pedir de: <order@margraf-verlag.de>, precio 27 €, ISBN 3-8236-1384-7).
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, conceptos, proyectos, estudios de caso de todo el mundo.

KINKADE-LEVARIO, H.
2007 *Design for water*, New Society Publishers, EEUU.
Contenido: Manejo y uso de aguas pluviales, cosecha, diseño, construcción, reuso de aguas, prácticas sostenibles de uso de agua en general, especialmente en el ambiente urbano, para profesionales.

KOENIG, K. W.
1996 *Regenwasser in der Architektur. Oekologische Konzepte (Aguas pluviales en la arquitectura. Conceptos ecológicos)*, Edit. Oekobuch, Staufen, Alemania, 240 pp., ISBN 3-922964-60-5.

Contenido: Aguas pluviales, técnicas de uso, infiltración, retención, integración arquitectónica, estudios de caso de Europa central, historia.

2001 *The rainwater technology handbook. Rainharvesting in building (includes materials and tools for planning and design)*, Edit. Wilo, Dortmund, Alemania, 175 pp., ISBN 3-00-008368-5.
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, planificación, diseño, estudios de caso internacionales.

LANCASTER, B.
2006 *Rain water harvesting for drylands*, Chelsea Green Publishing Company, EEUU, ISBN-10: 097724640X, ISBN-13: 978-0977246403, <www.harvestingrainwater.com>.
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, diseño, construcción, implementación, especialmente para zonas áridas.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD
2005 *The Texas manual on rain water harvesting*, 3ra edición, Austin, Texas, EEUU, <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvesting-Manual_3rdedition.pdf >
Contenido: Aguas pluviales, cosecha, diseño, construcción, implementación.

– Sitios web recomendados

<www.eng.warwick.ac.uk/ircsa>	Memorias de las conferencias internacionales de la Asociación Internacional de Sistemas de Cosecha de Aguas Pluviales.
<www.harvesth2o.com>	Comunidad virtual en internet sobre cosecha de aguas pluviales.
<http://www.cityfarmer.org/rainbarrel72.html>	Mucha información sobre cosecha de aguas pluviales. Muchos enlaces internet.
<www.twdb.state.tx.us>	Información sobre cosecha de aguas pluviales del Estado de Texas, EEUU, con buenos enlaces.
<www.rainwaterharvesting.net>	Sitio Web de Oasis (EEUU) sobre cosecha de aguas pluviales, con muchos enlaces internet.
<www.rainwaterharvesting.org>	Actividades tradicionales y actuales de cosecha de aguas pluviales en la India.

<www.downtoearth.org.in>	Revista del CSE, India
<www.aboutrainwaterharvesting.com>	Cosecha de aguas pluviales en la India.
<http://aquamor.tripod.com/page3.html>	Cosecha de aguas pluviales, sistemas en autoconstrucción.
<www.rainbarrelguide.com>	Manual para la cosecha de aguas pluviales a nivel de vivienda.
<www.environment-agency.gov.uk>	Agencia de Medio Ambiente, Inglaterra. Uso de aguas grises. Cosecha de aguas pluviales.
<http://oasisdesign.net>	Manuales para uso de aguas grises, cosecha de aguas pluviales y otros. Soluciones económicas.

– Direcciones de expertos y organizaciones

Klaus W. Koenig Wiestorstraße 8 D-88662 Ueberlingen, Alemania Tel. 0049-7551-61305 Fax: 0049-7551-68126 <kwkoenig@koenig-regenwasser.de> <www.klauswkoenig.de>	Arquitecto. Experto internacional en uso de aguas pluviales. Autor de varios libros.
fbr Fachvereinigung fuer Betriebs- und Regenwassernutzung Havelstr. 7a D-64295 Darmstadt, Alemania Tel. 0049-6151-339257 Fax: 0049-6151-339258 <info@fbr.de> <www.fbr.de>	Organización para la promoción del manejo y uso de aguas pluviales y aguas grises. Edición de revistas y libros.
John Gould Christchurch, Nueva Zelanda <john.gould@xtra.co.nz>	Cosecha de aguas de lluvia para uso doméstico, sistemas de autoconstrucción. Director Regional del IRCSA y Water for Survival.
Dr. Makoto Murase Chief of Rainwater Utilization Promoting Section Sumida City Hall Sumida-Ku Tokyo 130-8640, Japón <murase-m@jcom.home.de.jp> <2130510901@jcom.home.ne.jp>	Experto internacional en uso y manejo de aguas pluviales. Creación del primer museo de aguas pluviales a nivel mundial, en Tokio.

People for Rainwater 1-8-1 Hijashi Mukojima Sumida-Ku Tokyo 131-0032, Japón Tel. 0081-3-3611-0573 Fax 0081-3-3611-0574 <www.skywater.jp/profile1_e.html>	Organización japonesa para el uso de aguas pluviales.
International Rainwater Catchment Systems Organization (IRCSA) UH-CTAHR-NREM 875 Komohana St. Hilo, HI 96720, EEUU <www.ircsa.org>	Asociación Internacional de Sistemas de Cosecha de Aguas Pluviales. Con miembros en más de 70 países.
International Rainwater Harvesting Alliance (IRHA) <www.irha-h2o.org>	Alianza Internacional de Cosecha de Aguas Pluviales. Creada el año 2002 en la Cumbre de Johannesburgo. Con actividades en Bolivia y en todo el mundo.
Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN) Países Bajos <www.rainfoundation.org>	Red de Implementación de Cosecha de Aguas Pluviales. Focaliza la instalación de sistemas de cosecha de lluvia e intercambio de conocimientos en países en desarrollo.
Centre for Science and Environment (CSE) 41, Tughlakabad Institutional Area New Delhi, 110062, India Tel. 91-11-698 1110 y 698 1124 Fax 91-11-698 5879 <cse@cseindia.org> <www.cseindia.org>	Centro de Ciencia y Medio Ambiente. Trabaja especialmente en cosecha de aguas pluviales. Recuperación de métodos tradicionales. Promoción de métodos de recolección y almacenamiento de aguas pluviales. Coordinación de una red nacional de cosecha de aguas pluviales: "National Water Harvesting Network".
Johann Gnadlinger Juazeiro, Bahia, Brazil <ircsa@irpaa.org.br> <ircsa@netcap.com.br>	Director Regional del IRCSA para Latinoamérica y el Caribe. Uso de aguas de lluvia de forma descentralizada en la agricultura.
Dr. Robert S. Schemenauer Director Ejecutivo FogQuest Sustainable Water Solutions 448 Monarch Place Kamloops BC V2E 2B2, Canadá Tel: 250-374-1745 Fax: 250-374-1746 <info@fogquest.org> <www.fogquest.org>	Cosecha y uso de aguas de neblina.

Dra. María del Pilar Cereceda Troncoso Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago de Chile Camino el Algarrobo 1442, Las Condes Tel. 2201553-6864721 Fax: 2201553-5526028 <dcereced@vtr.net <www.puc.cl/expertos/expertos/fac-his.html>	Cosecha y uso de aguas de neblina.

– Proveedores

Los proveedores, principalmente alemanes, se encuentran en las siguientes revistas alemanas:

fbr (2003/2004): Marktuebersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung.- Fachvereinigung fuer Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), Darmstadt, Alemania.

fbr-Branchenfuehrer 2003: Betriebs- und Regenwasser.- Fachvereinigung fuer Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), Darmstadt, Alemania.

MALL-UMWELTSYSTEME Huefinger Str. 39 - 45 D-78166 Donaueschingen-Pfohren, Alemania <www.mall.info>	Proveedor más grande en Alemania para: – Uso de aguas pluviales. – Infiltración y retención de aguas pluviales. – Cisternas. Filtros de arena. – Sistemas pretensados en concreto. – Humedales artificiales. – Filtros biológicos.
GEP Umwelttechnik GmbH Bogestr. 98 D-53783 Eitorf, Alemania Tel. 0049-2243-92 06 0 Fax 0049-2243-92 06 66 <www.gep.info>	Uso de aguas pluviales. Sistemas de filtración para viviendas, para agua potable y potabilización de agua pluvial.
Klargester Environmental College Road North Aston Clinton Aylesbury Buckinghamshire HP22 5EW UK Tel: +44 (0)1296 633 000 <www.klargester.com> <www.envireau.co.uk>	Sistemas de tratamiento de aguas servidas, tanques sépticos y otros para casas individuales hasta pequeños pueblos. Envireau es el nombre del sistema de cosecha de aguas pluviales.

Rainharvesting Systems Ltd Unit S2 Inchbrook Trading Estate Bathroad Woodchester Stroud Glos. GL5 5EY UK <www.rainharvesting.co.uk>	Sistemas de cosecha de aguas pluviales y reuso.
Freerain Ltd Millennium Green Business Centre Rio Drive, Collingham Newark. NG23 7NB UK <www.freerain.co.uk>	Sistemas de cosecha de aguas pluviales.
Hansgrohe GmbH & Co. KG Auestr. 5 - 9 D-77761 Schiltach, Alemania <www.hansgrohe.de>	Artefactos de bajo consumo. Reciclaje de aguas de ducha.
ZELTEC Engineering GMBH Niederkasselner Str. 14 D-51147 Koeln-Porz, Alemania Tel. 0049-2203-96 66 80 Fax 0049-2203-96 66 888 <zeltec@zeltec.de>	Cono de agua (water cone) para la destilación de agua. El cono puede condensar 1,5 litros de agua al día.
Southern Trident Pty. Ltd. 49 Whales Way, Bluewater Beach Port Elizabeth,6210 Sudáfrica Tel: +27(0)41 467 0871 <http://southerntrident.com>	Equipo Aquasafe Produce agua potable mediante energía solar, para agua pluvial, agua de cuerpos de agua superficiales y agua de grifo insegura. Costos de operación: menos de un dólar por persona y año.

3. Manejo de aguas pluviales

– Bibliografía recomendada

ATV (Ed.)
1999 *Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schaedlich verunreinigtem Niederschlagswasser* (*Construcción y dimensionamiento de plantas para la infiltración descentralizada de aguas pluviales no significativamente contaminadas*), Abwassertechnische Vereinigung e.V., Arbeitsblatt A 138.
Contenido: Aguas pluviales, infiltración descentralizada, construcción, dimensionamiento, normas.

ATV-DVWK
2002 *Versickerungsexpert* (*Experto en infiltraciones*), CD-Rom, ATV-DVWK, Hennef, Alemania (se puede pedir de <vertrieb@atv.de>).

Contenido: Software para el dimensionamiento de sistemas de infiltración de aguas pluviales en base a la norma ATV-DVWK-A 138.

DREISEITL, H.; D. Grau & K. H. C. Ludwig
2001 *Waterscapes*, Edit. Birkhaeuser, Basel, Suiza, 176 pp.
Contenido: Se trata de la integración del agua en el paisaje urbano, con muchos ejemplos realizados en Europa. Combina las funciones ecológicas, estéticas y sociales del manejo de agua.

FRANKEN, M.
2007 *Naturación - Medida importante para el mejoramiento urbano*, <www.pncc.gov.bo/.../talleres/CursoClimatologiayPlanificacionUrbana/Ponenciascurso/naturacion.pdf>
Contenido: Naturación como medida para el mejoramiento del balance de aguas en zonas urbanas, ejemplo de un proyecto integrado en la ciudad de Berlín.

GEIGER, W. & H. Dreiseitl
2001 *Neue Wege fuer das Regenwasser* (*Nuevos caminos para el agua de lluvia*), Edit. Oldenbourg, Muenchen, Alemania, 2da edición, 303 pp.
(El libro no se ha traducido a otra lengua. En dos años aproximadamente se espera una versión ampliada en inglés).
Contenido: Libro muy bueno para el diseño, el dimensionamiento y la construcción de sistemas de manejo de agua pluvial (recolección, tratamiento, retención, infiltración).

GREEN GROWTH GUIDELINES
2006 *Low impact development and storm water management*, (Cap. 3), Georgia Department of Natural Resources, Coastal Resources Division, EEUU, <http://crd.dnr.state.ga.us/assets/documents/GGG3.pdf>.

IPS
2001 *Handbuch zum Programm STORM 2000* (*Manual para el programa STORM 2000*), Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Dahlwitz-Hoppegarten, Berlín, Alemania.
Contenido: Manual del programa STORM para la modelación de sistemas de manejo de aguas pluviales.

PUDGET SOUND ACTION TEAM
2003 Natural approaches to stormwater management, <http://www.psat.wa.gov/Publications/LID_studies/lid_natural_approaches.pdf >.
Contenido: Infiltración en suelos y lagunas, bioretención, pavimentos permeables, cosecha de aguas pluviales en techos, techos verdes, estudios de caso.

SIEKER, F. & H. Sieker *et al.*
2002 *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Grundlagen und Anwendungsbeispiele, neue Entwicklungen* (*Manejo natural de aguas pluviales*

en zonas pobladas. Bases y ejemplos de aplicación, diseños nuevos), 2da edición mejorada, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, Alemania.
Contenido: Aguas pluviales, manejo en zonas pobladas, conceptos, bases, aplicación, desarrollo técnico, estudios de caso.

– Sitios web recomendados

<www.rainkc.com/ESPANOL/INDEX.ASP> Manejo de aguas pluviales, jardines de lluvia, infiltración.

<www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=33702_201&ID2=DO_TOPIC>
Centro Virtual de Información del Agua (Agua.org.mx): Hacia una gestión sostenible de las aguas pluviales en las urbes.
Manejo de aguas pluviales en ciudades.
Sistemas de retención e infiltración de aguas de escurrimiento.

– Direcciones de expertos y organizaciones

ATV-DVWK Theodor-Heuss-Allee 17 53773 Hennef, Alemania Tel. 0049-2242-872 120 <vertrieb@atv.de> <www.atv-dvwk.de>	Desarrollo de normas.
Atelier Dreiseitl Nussdorfer Str. 9 88662 Ueberlingen, Alemania Tel. 0049-7551-92 88-0 <info@dreiseitl.de> <www.dreiseitl.de>	Diseño del manejo de aguas pluviales en el ámbito urbano bajo los temas: hidrología urbana, arte, diseño de áreas libres, técnicas ambientales. Humedales artificiales. Trabaja a nivel internacional. Experto internacional en integración de aspectos ecológicos, arquitectónicos, estéticos y sociales.
Emschergenossenschaft Kronprinzenstr. 24 45128 Essen, Alemania Tel. 0049-201-104 2663 <emscher@eglv.de> <www.emschergenossenschaft.de>	Manejo de aguas en la zona Ruhr. Cuerpos de agua urbanos. Manejo de aguas pluviales.

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang F. Geiger Universidad de Essen FB 10 Ingeniería Civil Universitaetsstr. 15 45141 Essen, Alemania Tel. 0049-201/183-3792 Fax 0049-201/183-3793 <wolfgang.geiger@uni-essen.de> <geiger@aix.siwi.uni-essen.de> <www.siwi.uni-essen.de>	Experto internacional en manejo de aguas urbanas. Planificación, dimensionamiento y construcción de sistemas de infiltración y retención. Trabajos en todo el mundo, especialmente en China.
IFS (Ingenieurgesellschaft fuer Stadthydrologie) Stiftstr. 12 30159 Hannover, Alemania Tel. 0049-511-70139-0 Fax 0049-511-70139-99 <info@ifs-hannover.de> <www.ifs-hannover.de>	Hidrología urbana. Retención e infiltración de aguas pluviales. Retención de aguas en techos naturados.
Prof. Dr. Ing. Mathias Uhl Universidad de Ciencias Aplicadas Muenster Departamento Ingeniería Civil Labor fuer Wasserbau und Wasserwirtschaft (LWW) Corrensstr. 25 48149 Muenster, Alemania Tel. 0049-251-83-65201 Fax 0049-251-83-65152 <uhl@fh-muenster.de> <www.fh-muenster.de/fb06/lww>	Retención e infiltración de aguas pluviales. Filtros de suelo de retención para purificación de aguas pluviales de escurrimiento.
Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Berliner Str. 71 (Rennbahnallee 109 A) 15366 Dahlwitz - Hoppegarten Tel. 03342/3595-16 Fax 03342/3595-29 <info@sieker.de> <h.sommer@sieker.de> <www.sieker.de>	Infiltración y retención de aguas pluviales.

Dr. Hans-Joachim Henze Institut fuer Agrar- und Stadtoekologische Projekte (IASP) Humboldt Universitaet zu Berlin Invalidenstr. 42 10115 Berlín, Alemania Tel. 0049-30-2093-9060 Fax 0049-30-2093-9065	Naturación de edificios. Retención de aguas pluviales en techos naturados y camas de rieles.
Center of Science and Environment (CSE) 41, Tughlakabad Institutional Area New Delhi, 110062 India Tel. 91-11-698 1110 y 698 1124 Fax 91-11-698 5879 <www.cseindia.org>	Recuperación de conocimientos sobre colección de aguas pluviales en la India. Promoción de cosecha de aguas pluviales.

– Proveedores

MALL-UMWELTSYSTEME Huefinger Str. 39 - 45 D-78166 Donaueschingen-Pfohren, Alemania <www.mall.info>	Proveedor más grande en Alemania para: Uso de aguas pluviales, infiltración y retención de aguas pluviales, cisternas, filtros de arena, pretensados de concreto, humedales artificiales, filtros biológicos, filtros de membrana para tratamiento de aguas grises.
Aquatecnic Sistemas S.A. C/Arroyo del Soto, 6 Parque Empresarial La Laguna 28914 Leganés (Madrid) España <atencionalcliente@aquatecnic.es> <www.aquatecnic.es>	Equipos modulares para infiltración, retención y/o acumulación de aguas de lluvia (Wawin Aquacell).

Atlantis Water Management 3/19-21 Gibbes Street Chatswood NSW 2067 Australia <info@atlantiscorp.com.au> <www.atlantiscorp.com.au> Distribuidor para: Atlantis Solutions S.A. Av. Guadalupe 1671 - 5 Col. Chapalita Guadalajara Jal. MX CP 45050, México <contacto@atlantissolutions.com.mx> <www.atlantissolutions.com.mx>	Equipos modulares para infiltración, retención o acumulación de aguas de lluvia Información: <www.sistemasgeotecnicos.cl /Upload/Product%20Guide_2006%20Spanish%20Small.pdf>
Re-Natur GMBH Charles-Ross-Weg 24 24601 Ruhwinkel, Alemania Tel. 0049-4323-9010-0 Fax 0049-4323-9010-33 <info@re-natur.de> <www.re-natur.de>	Todos los materiales necesarios para la implementación de techos naturados. Plantas de purificación mediante macrófitas.

4. Agua potable y su purificación

– Bibliografía recomendada

Boletín SODIS (Boletín de la Fundación SODIS), publicación cuatrimestral.

Boletín de Solar Box Cookers, publicación cuatrimestral.

– Sitios web recomendados

<www.sodis.ch>	Desinfección solar del agua
<www.solarcooking.org>	Desinfección solar del agua

– Direcciones de expertos y organizaciones

Solar Box Cookers 1919 21st Street # 101 Sacramento, CA 95814 Tel. +1 (916) 455-4499 Fax: +1 (916) 455-4498 <info@solarcookers.org> <www.solarcooking.org>	Desinfección solar del agua.

EAWAG/SANDEC P.O. Box 611 Tel. 41-1-823 5399 CH - 8600 Duebendorf, Suiza <www.eawag.ch> <www.sandec.ch> <www.sodis.ch>	Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua (EAWAG), con su Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo (SANDEC). Desinfección solar del agua (SODIS). Eliminación del arsénico del agua.
Dr. Martin Wegelin EAWAG/SANDEC P.O. Box 611 Tel. 41-1-823 5399 CH - 8600 Duebendorf, Suiza <wegelin@eawag.ch> <www.sandec.ch> <www.sodis.ch>	Coordinador del programa mundial de SODIS.

– Proveedores

DISC-O-BED GmbH Spitalstr. 22 79539 Lörrach ALEMANIA <www.discobed.de>	Cono para producción de agua potable en zonas remotas o contaminadas.
ZELTEC Engineering GMBH Niederkasselner Str. 14 D-51147 Koeln-Porz (Alemania) Tel. 0049-2203-96 66 80 Fax 0049-2203-96 66 888 <zeltec@zeltec.de>	Cono de agua (water cone) para la destilación de agua. El cono puede condensar 1.5 l de agua al día.
Solar Box Cookers 1919 21st Street # 101 Sacramento, CA 95814 Tel. +1 (916) 455-4499 Fax: +1 (916) 455-4498 <info@solarcookers.org>	Manuales de construcción de cocinas solares para desinfección solar del agua. Venta del WAPI (Indicador de pasteurización solar).

Safe Water Systems 2800 Woodlawn Drive, Suite 265, Honolulu, Hawaii 96822 Tel. 808.539.3937 Fax: 808.539.3935 1600 Kapiolani Blvd, Suite 721 Honolulu, Hawaii 96814 Tel: 808-949-3123 Fax: 808-949-3103 <info@safewatersystems.com> <www.safewatersystems.com>	Proveedor de equipos de desinfección solar del agua.
<www.solarwyse.com>	Proveedor de equipos de desinfección solar del agua.

5. ECOSAN - Sanitarios de compostaje, sistemas de riego con aguas grises, etc.

– Bibliografía recomendada

ARAGUNDAY, J. & X. Zapata
2003 *Experiencias de la introducción del concepto de saneamiento ecológico en Ecuador*, Taller ECOSAN, República de El Salvador, <www2.gtz.de/dokumente/oe44/ecosan/cb/es-experiences-ecological-sanitation-ecuador-2003.pdf >.
Contenido: Fototeca de sanitarios ecológicos implementados en Ecuador y documentación de experiencias

CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES
[s/f] *Using graywater in your home landscape*, California Department of Water Resources, Publications Office, Sacramento, California, EEUU.
Contenido: Buena introducción para propietarios de casas, como regar con aguas grises, bajo los reglamentos del estado de California.

CEPP
[s/f] *Using your urine*, Center for Ecological Pollution Prevention, Concord, Massachusetts, EEUU, 9.95 $us.
Contenido: Sistemas de procesamiento y uso de orina.

CÓRDOVA, A.
2001 *Programas de saneamiento seco a gran escala - Observaciones y recomendaciones preliminares de experiencias urbanas en México*, Informe de Campo de la Investigación Doctoral, Cornell-University, HDRU series N° 01-6, EEUU, <www.tuhh.de/susan>.

Contenido: Reporte sobre los proyectos ECOSAN con sanitarios de desecación en la provincia Morelos.

DEL PORTO, D. & C. Steinfeld
2000 *The composting toilet book*, Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Concord, EEUU, 235 pp.
Contenido: Compendio completo sobre sanitarios ecológicos.

DRANGERT, J.-O.; J. Bew & U. Winblad (Eds.)
1997 *Ecological alternatives in sanitation*, Memorias del Taller de Trabajo de SIDA sobre Saneamiento, Balingsholm, Suecia.
Contenido: Saneamiento seco y separación de orina.

ECO DESIGN (Ed.)
[s/f] *The compost toilet & greywater recycling systems manual*, Eco Design Sustainable Housing, 130 pp., 50 $us.
Contenido: Sistemas de reciclaje de aguas grises y sanitarios ecológicos.

ESREY, S. A.
2002 *Ecosan - The big picture*, Proceedings of the First International Conference on Ecological Sanitation, del 5 al 6 de noviembre de 2001, Nanning, China.
Contenido: Conceptos ECOSAN.

ESREY, S.; I. Andersson; A. Hillers & R. Sawyer
2001 *Cerrando el ciclo. Saneamiento ecológico para la seguridad alimenticia*, Edit. SARAR Transformación, México, ISBN 968-5427-02-X, 104 pp.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN.

ESREY, S.; J. Gough; D. Rapaport; R. Sawyer; M. Simpson-Hébert; J. Vargas & U. Winblad (Eds.)
2001 *Saneamiento ecológico*, 2da ed., ASDI, México, ISBN 968-5427-00-3, 91 pp.
Contenido: Conceptos, tecnologías y proyectos ECOSAN.

GRANT, N.; M. Moodie & Ch. Weedon
2005 *Sewage solutions: Answering the call of nature*, 3ra edición, CAT Publications, Inglaterra, 192 pp., 12 £, ISBN 1-90217-526-3.
Contenido: Conceptos ECOSAN

GUILLÉN TRUJILLO, H. A.
[s/f] *Saneamiento ecológico: Desde Estocolmo hasta Yayalón*, Universidad Autónoma de Chapas, México, <www.tapic.info/arquitectura.medioambiental/chiapas/documentos/Saneamiento%20Ecologico.pdf >.
Contenido: Estudios de caso en saneamiento ecológico.

How to make and use a simple "sawdust" toilet
<http://users.easystreet.com/ersson/sawdust.htm>
Contenido: Manual de construcción y uso de un sanitario ecológico simple.

JENKINS, J. C.
1999 *The Humanure Handbook*, Jenkins Publishing, P.O. Box 607, Grove City, PA 16127, Tel. 1-800-639-4099, EEUU, <www.jenkinspublishing.com>, <www.weblife.org/humanure>
Contenido: Compendio completo sobre conceptos y tecnologías ECOSAN y sus ventajas. Manual de construcción y uso de un sanitario ecológico simple. Direcciones de proveedores a nivel internacional. Legislación en los Estados Unidos. Muchas direcciones en internet.

JOHANSSON, M. & M. Nykvist
2000 *Urine Separation - Closing the nutrient cycle*, Stockholm Vatten, Stockholmshem HSB, VERNA Ecology, Final Report on the R&D Project: Source-Separated Human Urine - A future fertilizer for agriculture in the Stockholm region?, Estocolmo, Suecia.
Contenido: Opciones para el uso de orina en la agricultura en Suecia.

LENS, G.; G. Zeeman & G. Lettinga
2001 *Decentralised sanitation and reuse concepts, systems and implementation*, IWA Publishing 2001, Londres, Inglaterra.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN.

LUDWIG, A.
1995 *Builder's greywater guide. Installation of greywater systems in new construction and remodeling*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU, 50 pp., ISBN 0-9643433-2-0.
Contenido: Manual de construcción de sistemas de aguas grises de purificación y riego. Complemento al manual "Create an oasis with greywater".

———
2001 *Create an oasis with greywater*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU, 50 pp., ISBN 0-9643433-0-4.
Contenido: Manual de construcción de sistemas de aguas grises de purificación y riego. Sistemas muy simples y más complejos.

———
2002 *Branched drain greywater systems guide*, Edit. Oasis Design, Santa Barbara, EEUU, 50 pp., ISBN 0-9643433-5-5.
Contenido: Manual de construcción de sistemas de aguas grises de riego por gravedad, en tubos ramificados.

MORGAN, P.
2007 *Toilets that make compost*, Stockholm Environment Institute, EcoSanRes Programme, 114 pp., Estocolmo, Suecia, <www.ecosanres.org/pdf_files/ToiletsThatMakeCompost.pdf>.
Contenido: Descripción detallada de la implementación de modelos de muy bajo costo.

NARAIN, S.
2002 *Ecológicamente hablando: WC: ¡Ni pensarlo!*, Down to Earth, Vol. 10, N° 19, febrero de 2002, Nueva Delhi, India, <www.tuhh.de/susan>.
Contenido: Crítica fuerte de los actuales sistemas de inodoros con barrido de agua, conceptos ECOSAN

OTTERPOHL, R.
[s/f] *Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente y experiencias en la práctica*, <www.tuhh.de/susan>.
Contenido: Proyecto ECOSAN.

———
[s/f] *Conceptos innovadores orientados al reuso del agua. Opciones de alta, mediana y baja tecnología*, <www.tuhh.de/susan>.
Contenido: Reuso de aguas grises.

Proceedings of the First International Conference on Ecological Sanitation, del 5 al 6 de noviembre de 2001, Nanning, China, <www.ecosanres.org/Nanning%20Conf%20Proceedings.htm>.
Contenido: Trabajos y proyectos sobre ECOSAN en todo el mundo.

SASSE, L.
1998 *DEWATS. Decentralized wastewater treatment in developing countries*, Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), Bremen, Alemania, 160 pp.
Contenido: Describe sistemas integrados de tratamiento de aguas servidas de baja tecnología.

SCOTT
2002 "Dry sanitation solutions", en Journal of Rural and Remote Environmental Health, Vol. 1, No. 2, pp. 23 - 25, <www.jcu.edu.au/jrtph/vol/v01scott2.pdf>
Contenido: Sanitarios secos con dos cámaras.

SIMPSON-HEBERT, M.
1997 *Sanitation promotion kit*, WHO, Nueva York, EEUU. 41 $us.
Contenido: Estudios de caso y artículos sobre el trabajo con entidades políticas y la promoción del saneamiento ecológico en general.

SIMPSON-HEBERT, M. & S. Wood
1998 *Sanitation Promotion*, WSSCC Working Group on Promotion of Sanitation, Edit. WHO, Ginebra, Suiza, 275 pp.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN.

TEJADA-GUIBERT, J. A. & C. Maksimovic (Eds.)
2001 *Frontiers in Urban Water Management. Deadlock or Hope*, Proceedings Symposium del 18 al 20 de junio de 2001, Marseille, Francia.

International Hydrological Programme IHP V, Technical Documents in Hydrology N° 45, IWA Publishing, UNESCO, París, Francia, <www.iwapublishing.com>
Contenido: Manejo de aguas municipales.

WINBLAD, U.
1996 *Recent development in sanitation*, Conferencia en Lund, Suecia.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN.

———
2002 *Final Report SanRes 1992 - 2001*, Estocolmo, Suecia.
Contenido: Reporte sobre actividades ECOSAN en todo el mundo.

WINBLAD, U. & W. Kilama
1985 *Sanitation without water*, Macmillan Education Ltd., Londres, Inglaterra, 161 pp.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN.

WINBLAD, U. & M. Simpson-Hébert
2004 *Ecological sanitation*, edición revisada y aumentada, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia, 141pp.

WRIGHT, A. M.
1997 *Toward a strategic sanitation approach. Improving the sustainability of urban sanitation in Developing Countries*, UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, 38 pp.
Contenido: Conceptos y tecnologías ECOSAN, con énfasis en países en desarrollo.

– Sitios web recomendados

<www.wsscc.org/source>	Publicación semanal del WSSCC e IRC. Novedades para el desarrollo internacional en saneamiento ecológico.
<www.sanicon.net>	Sanitation Connection. Red internacional de saneamiento.
<www.zeri.org>	Zero Emissions Research & Initiatives. Investigaciones e iniciativas en emisiones zero, especialmente proyectos ECOSAN.
<www.cityfarmer.org/comptoilet64.html>	ONG internacional para agricultura urbana. Sanitarios ecológicos.
<www.gtz.de/ecosan>	Sitio web de la Cooperación Técnica Alemana sobre todas las actividades

	internacionales de ECOSAN, newsletter: cuatro veces al año, foro de discusión (en cuatro lenguas, también español).
<www.tuhh.de/susan>	Grupo internacional de especialistas en saneamiento sustentable del IWA.
<www.tu-harburg.de/aww>	Grupo de trabajo en ECOSAN de la Universidad Técnica de Hamburgo.
<www.ecosan.org>	Saneamiento ecológico.
<www.ecosanres.org>	Ecological Sanitation Research (Investigación en Saneamiento Ecológico). Sitio web de las actividades suecas internacionales en ECOSAN. Con muchas publicaciones sobre saneamiento ecológico y con los mejores enlaces en internet.
<www.ecosanlac.org>	Saneamiento ecológico en Latinoamérica y el Caribe.
<www.drytoilet.org>	Asociación global de baños secos en Finlandia.
<www.laneta.apc.org>	Servicio de comunicación entre ONG y otras organizaciones similares. Sitio web de los grupos ECOSAN en México.
<www.riles.org>	ReSource Institute for Low Entropy Systems (RILES). ONG estadounidense que trabaja en Centro América. Sistemas completos de saneamiento y tratamiento de aguas servidas a nivel de vivienda, incluyendo sanitario ecológico en autoconstrucción, tipo Clivus Multrum, y sistema de riego con aguas grises.
<http://aquamor.tripod.com>	Peter Morgan, Zimbabwe, África Sistemas ECOSAN de muy bajo costo.
<www.compostingtoilet.org>	Todo sobre sanitarios de compostaje. Muchos enlaces en internet, lista de proveedores.

<www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/fs27.htm>
Información básica sobre todos los aspectos de sanitarios ecológicos.

<www.mvula.co.za> Mvula Trust, ONG en Sudáfrica, para agua y saneamiento.

<www.eco-solutions.org> Soluciones ecológicas, saneamiento ecológico en India.

<www.wupperinst.org/FactorFour/best-practices/urinals.html>
Información sobre urinarios secos, su funcionamiento, su uso, sus ventajas y problemas eventuales.

– Direcciones de expertos y organizaciones

Water Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC) International Environment House Chemin des Anémones 9 1219 Châtelaine Ginebra, Suiza <www.wsscc.org>	Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Promoción de conceptos ECOSAN.
EAWAG Ueberlandstr.133 Postfach 611 CH-8600 Dübendorf, Suiza <www.eawag.ch> <info@eawag.ch>	Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua. Investigación de nuevas tecnologías para sistemas ECOSAN. En su programa Novaquatis se investigan los sistemas separadores de orina y las posibilidades de uso de la orina. Tecnologías de membrana para producción de agua potable. Contaminación de escurrimiento de aguas pluviales.
EAWAG/SANDEC Überlandstrasse 133 Postfach 611 CH-8600 Dübendorf, Suiza <www.sandec.ch>	Promoción de conceptos ECOSAN en países en desarrollo. Sistema SODIS. Planificación del manejo de agua en zonas pobladas.

Christine Werner Heinz-Peter Mang Susanne Kimmich GTZ - Proyecto ECOSAN Dag-Hammarskjoeld-Weg 1-5 65760 Eschborn, Alemania Tel. 0049-6196-79 4220 <ecosan@gtz.de> <www.gtz.de/ecosan>	Proyecto para la promoción de proyectos ECOSAN en todo el mundo. Recopilación y sistematización de conocimientos y experiencias.
Dr. Ralf Otterpohl Universidad Técnica Hamburg-Harburg (TUHH) Eissendorfer Strasse 42 D-21073 Hamburg, Alemania Tel.: 0049-40-42878-3207 Fax: 0049-40-42878-2684 <otterpohl@tu-harburg.de> <www.tuhh.de/aww>	Experto internacional en sistemas ECOSAN. Investigación e implementación de nuevas tecnologías.
Håkan Jönsson Institutionen för Lantbruksteknik, SLU Department of Agricultural Engineering, SLU Box 7032 S-750 07 Uppsala, Suecia <hakan.jonsson@lt.slu.se> <http://www-bt.slu.se>	Tecnología ambiental. Saneamiento ecológico.
Dipl.-Ing. Dr. Guenter Langergraber BOKU - University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna Institute of Sanitary Engineering and Water Pollution Control Muthgasse 18 A-1190 Vienna, Austria <guenter.langergraber@bocu.ac.at> <www.wau.boku.ac.at/sig.html>	Manejo descentralizado de aguas domésticas. Sanitarios ecológicos.
Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB) Cicerostr. 24 Berlín, Alemania Tel. 030/53653-800 <www.kompetenz-wasser.de>	Centro internacional del estudio del agua y transferencia de la ciencia. Proyecto piloto ECOSAN en Berlín.

BORDA (Bremen Overseas Research and Development Association) Industriestr. 20 28199 Bremen, Alemania Tel. 0049-421-13718 Fax: 0049-421-16553 23 <www.borda-net.org>	Manejo descentralizado de aguas domésticas. Sistemas de biogás, proyectos ECOSAN, tratamiento de aguas servidas y sistemas integrales en países en desarrollo. DEWATS (Decentralized Water Treatment Systems).
Ecowaters Projects Con su Ecosan Center P.O. Box 1330 Concord, MA 01742, EEUU Tel. 978-318-7033 <info@ecowaters.org> <www.ecowaters.org>	Sanitarios ecológicos de bajo costo. Estrategias de reuso de aguas servidas. Reciclaje y tratamiento de aguas grises. Huertas de aguas grises. Sistemas para ecoturismo.
ReSource Institute for Low Entropy Systems (RILES) 179 Boylston Street, 4th floor Jamaica Plain Boston, MA 02130, EEUU Tel. 617-524 7258 <resource@riles.org> <www.riles.org>	ReSource Institute for Low Entropy Systems (RILES). ONG estadounidense que trabaja en Centroamérica. Sistemas completos de saneamiento y tratamiento de aguas servidas a nivel de vivienda, incluyendo sanitario ecológico en autoconstrucción, tipo Clivus Multrum, y sistema de riego con aguas grises.
Dr. Christine Moe Robert W. Woodruff Health Science Center Emory University 1518 Clifton Road NE Atlanta, Georgia 30322, EEUU Tel. 404 727 9257 Fax: 404 727 4590 <clmoe@sph.emory.edu> <www.sph.emory.edu/hpdgh.html>	Experta en microbiología de sanitarios ecológicos. Entre otros: Estudios de sanitarios solares de deshidratación en Ecuador. Apoyo al programa de saneamiento ecológico de Sumaj Huasi en Bolivia.
Joseph Jenkins Inc. 143 Forest Lane Grove City, PA 16127, EEUU Tel. 1-814-786-9085 <www.jenkinspublishing.com>	Publicaciones sobre sanitarios ecológicos.

CINARA Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico Universidad del Valle Ciudad Universitaria Meléndez Edificio 341 Cali, Valle de Cauca, Colombia Apartado Aéreo 25157 Tel. +57-2-3392345-3212290-3396096 Fax +57-2-3393289 <rogalvis@univalle.edu.co> <http://cinara.univalle.edu.co>	Gestión integral de aguas. Saneamiento ecológico.
Ron Sawyer (psicólogo social) y otros SARAR Transformación, S. C. Apartado Postal 8 Tepoztlán, Morelos, 62520, México Tel. 52-739-395 7505 <rsawyer@laneta.apc.org> <sarar@sarar-t.org> <www.sarar-t.org>	Promoción e implementación de sanitarios de deshidratación de doble cámara en varias provincias de México. Muchos años de experiencia. Publicaciones científicas y populares. Publicaciones en internet.
George Anna Clark Espacio de Salud AC Apartado Postal 1-1576 Cuernavaca, Morelos 62001, México Tel./Fax 52-777-318 0720 <esac@laneta.apc.org> <www.laneta.apc.org/esac>	
Cesar Añorve Centro de Innovación Técnológica, A. C. (CITA) Av. San Diego 501 Col. Vistahermosa, C.P. 62290 Cuernavaca, Morelos 62270, México Tel./Fax 52-777-322 8638 <acua@terra.com.mx> <www.laneta.apc.org/esac>	
Yao Xiangjun Ministry of Agriculture N° 41, Maizidian Street, Chaoyang District, Beijing 100026, China <yaoxjun@public3.bta.net.cn>	Experta en sistemas ECOSAN implementados en la China.

Uno Winblad Winblad Konsult AB Heleneborgsgatan 52 11732 Stockholm, Suecia <uno.win@wkab.se>	Experto internacional en sistemas ECOSAN desde hace muchos años. Implementa y evalúa sistemas ECOSAN en todo el mundo y especialmente sistemas sanitarios innovadores para las zonas urbanas.

– Proveedores

Otterwasser GmbH Dr. Martin Oldenburg Dr. Ralf Otterpohl Engelsgrube 81 D-23552 Luebeck, Alemania Tel. 0049-451-70 200 51 Fax 0049-451-70 200 52 <info@otterwasser.de> <oldenburg@otterwasser.de> <www.otterwasser.de>	Expertos internacionales en sistemas ECOSAN. Investigación e implementación de nuevas tecnologías integrales. Simulación computarizada de plantas de purificación.
Berger Biotechnik GmbH Wolfgang Berger Juliusstr. 27 D-22769 Hamburg, Alemania Tel.: +49(0)40 - 439 78 75 Fax: +49(0)40 - 43 78 48 <info@berger-biotechnik.de> <www.berger-biotechnik.de>	Sanitarios ecológicos. Tecnología de ahorro de agua.
BioCorp Inc. 2619 Manhattan Beach Boulevard Redondo Beach, CA 90278, EEUU Tel. 888-206 5658 Fax: 310-643-1622 <info@biocorpusa.com> <www.biocorpusa.com>	Producción y venta de bolsas biodegradables, en varios tamaños, de almidón de maíz y polímeros sintéticos, para uso en inodoros ecológicos de balde.
Center for Ecological Techniques (CET) Mezenlaan 2 5282 HB Boxtel, Países Bajos Tel. 31-411-672 621 Fax 31-411-672 854 <leeflang@antenna.nl>	Planos para sanitarios ecológicos en autoconstrucción (70 $us).

LCS ProMotion Int. AB Flo 18 S-467 96 Grastorp, Suecia Tel +46 514 40058 Fax +46 514 40273 <lcs@sanplat.com> <www.sanplat.com>	Accesorios para sanitarios ecológicos.
Waterless Co. 1050 Joshua Way Vista, CA 92081, EEUU Tel. 800-244-6364 Fax 760-727-7775 <sales@waterless.com> <www.waterless.com>	Urinarios sin agua. Tiene distribuidor en México.
Falcon Waterfree Technologies 10900 Wilshire Blvd., 15th Floor Los Angeles, CA 90004, EEUU Tel: 310.209.7250 Fax: 310.209.7260 <world@falconwaterfree.com> <www.falconwaterfree.com>	Urinarios sin agua. Productor más grande a nivel mundial. Tiene distribuidores en España, Brasil, Chile, México y Puerto Rico.
F. Ernst Ingenieur AG Riedwiesenstr. 18 CH-8305 Dietlikon-ZH, Suiza Tel. 0041-1-833 3113 Fax 0041-1-833 1836 <www.system-ernst.de>	Urinarios sin agua. Productor más antiguo del mundo, desde el año 1894.
ROEDIGER Vakuum- und Haustechnik GmbH Kinzigheimer Weg 104 – 106 D-63450 Hanau, Alemania Tel. 0049-6181-309 [illegible] Fax 0049-6181-309 280 <www.roevac.de>	Canalización al vacío. Inodoros al vacío. Inodoros separadores. Inodoros separadores al vacío.
Clivus Multrum Inc. 15 Union Street Lawrence, MA 01840, EEUU Toll Free 800-425-4887 Tel. 978-725-5591 Fax 978-557-9658 <forinfo@clivusmultrum.com> <www.clivus.com>	Producción industrial de sanitarios de compostaje y sistemas de aguas grises. Proveedores en España, Brasil y Chile.

Wost Man Ecology AB Sprängarvägen 18 132 38 Saltsjö-Boo, Suecia Tel +46 8 715 1320 Fax +46 8 715 1321 <info@wost-man-ecology.se> <www.wost-man-ecology.se>	Diferentes tipos de sanitarios de compostaje.
SARAR Transformación, S. C. Apartado Postal 8 Tepoztlán, Morelos, 62520, México Tel. +52-739-395 7505 <sarar@sarar-t.org> <www.sarar-t.org>	Producción de inodoros separadores de concreto y de fibra de vidrio.
<www.compostingtoilet.org>	Publica lista de proveedores de sanitarios ecológicos en todo el mundo. Enlaces en internet.
JENKINS, J. C. (1999): The Humanure Handbook.- JosephJenkins Inc. 143 Forest Lane Grove City, PA 16127, EEUU Tel. 1-814-786-9085 <www.jenkinspublishing.com>	Publica lista de proveedores de sanitarios ecológicos en todo el mundo. Enlaces en internet.
SWEDENVIRO (2001): Market Survey - Extremely low flush toilets plus urine diverting toilets and urinals, for collection of blackwater and/or urine, SwedEnviro Report N° 2001:1, pp.53, <www.swedenviro.se>, <www.swedenviro.se/pdf/engmarknadsoversikt.PDF>.	

6. Humedales artificiales y otros métodos de purificación

– Bibliografía recomendada

CHAPARRO, R. T. & I. M. Ospina
2005 "Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá", en Ciencia e Ingeniería Neogranadina N° 15, pp. 74 - 84, <www.umng.edu.co/www/resources/r15_06.pdf >.

CRITES, R. & G. Tchobanoglous
2000 *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*, McGraw-Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia, 3 tomos, 1.082 pp. **Contenido:** Teoría y práctica de implementación de sistemas técnicos y naturales de pequeña escala. Con cálculos de dimensionamiento.

LLAGAS, W. A. & E. Guadalupe
2006 "Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM", en Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geogr., Vol. 9, N° 17, pp. 85 - 96, ISSN 1561-0888, <http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v9n17/a11v9n17.pdf>
Contenido: Teoría básica de la implementación de humedales artificiales y descripción del sistema implementado.

MENDONCA, S. R.
2001 *Sistemas de lagunas de estabilización*, McGraw-Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia, 370 pp., ISBN 958-41-0090-0.
Contenido: Manual de construcción de lagunas de estabilización.

SEOANEZ CALVO, M.
1999 *Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales*, Mundi Prensa Libros S.A., Madrid, España, ISBN 9788471148216.
Contenido: Tratamiento de aguas servidas en humedales artificiales.

———
2004 *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*, Mundi Prensa Libros S.A., Madrid, España, ISBN 9788484762263.
Contenido: Tratamiento de aguas residuales con tecnologías ecológicas de bajo costo.

VYZAMAL, J.; H. Brix; P. F. Cooper; M. B. Green & R. Haberl
1997 *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, Países Bajos, 365 pp.
Contenido: Implementación de humedales artificiales, bases científicas, prácticas de implementación y ejemplos de las experiencias de uso obtenidas en los países europeos.

WEST, S. M.
2003 *Innovative On-site and decentralised sewage treatment reuse and management systems in Northern Europe & the USA*, <www.aquatron.se/pdfiles/OSRTMPh.pdf>.
Contenido: Tratamiento descentralizado de aguas servidas, ejemplos de varios países.

– Sitios web recomendados

<http://depuranat.itccanarias.org>	Instituto Tecnológico de Canarias S.A. Gestión sostenible del agua residual en los entornos rurales, entre otros humedales artificiales.
<www.wastewatergardens.com>	Información completa sobre humedales artificiales, su construcción y funcionamiento. Bibliografía. Enlaces en internet.

<www.training.gpa.unep.org/content.html?id=14&ln=6>
Oferta de curso sobre aguas servidas y tratamiento, mucho material para descargar.

– Direcciones de expertos y organizaciones

Environment and Public Heath Organization (ENPHO) 110/25 Adarsa Marga-1 Thapagaon New Baneshwor, Nepal <enpho@mail.com.np> <www.enpho.org>	Organización de Salud Pública y Medio Ambiente en Nepal. Saneamiento ecológico. Tratamiento de agua y agua servida. Soluciones integrales.
National Smallflows Clearinghouse (NSFC) Nacional Environmental Service Center West Virginia University P.O. Box 6064 Morgantown, WV 26506-6064, EEUU Tel. 800-624 8301 y 304-293 4191 <www.nesc.wvu.edu/nsfc>	Bases de datos computarizados conteniendo la última información sobre tecnologías de bajo flujo. Soluciones prácticas y alternativas de bajo costo para problemas de aguas servidas de bajo flujo.
BORDA (Bremen Overseas Research and Development Association) Industriestr. 20 28199 Bremen, Alemania Tel. 0049-421-13718 Fax: 0049-421-16553 23 <www.borda-net.org>	Manejo descentralizado de aguas domésticas. Tratamiento de aguas servidas y sistemas integrales para países en desarrollo. DEWATS (Decentralized Water Treatment Systems).
OASIS Design 5 San Marcos Trout Club Santa Barbara, CA 93105-9726, EEUU Tel. 805-967 9956 <http://oasisdesign.net>	Sistemas de reuso de aguas grises para riego en el propio jardín.
Galen Fulford The Ecovillage Institute Lookfar Connections The Park Findhorn, Forres IV36 3TZ, UK, Escocia <galen@lookfar.org>	Experto en humedales artificiales de bajo costo.

Dr. Sabine Kunst Universität Hannover Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH) Welfengarten 1 30167, Hannover Tel. 0511 - 762 2387 Fax 0511 - 762 3386 <kunst@isah.uni-hannover.de> <www.isah.uni-hannover.de>	Técnicas sanitarias. Tratamiento de aguas servidas en humedales artificiales. Integración del tratamiento de aguas grises a la imagen urbana, humedales artificiales como elemento de las áreas verdes. Con experiencias en tratamiento de aguas servidas en Bolivia.

– Proveedores

BORDA (Bremen Overseas Research and Development Association) Industriestr. 20 28199 Bremen, Alemania Tel. 0049-421-13718 Fax: 0049-421-16553 23 <www.borda-net.org>	DEWATS (Decentralized Water Treatment Systems).
Juanicó - Environmental Consultants Ltd. 2 Aliah St. 18392 Afula, Israel Tel. 972-4-652 3903 Fax 972-4-640 7825 <juanico@juanico.co.il> <office@juanico.co.il> <www.juanico.co.il>	Consultora internacional en soluciones de alta y baja tecnología, y bajo uso energético para clima caliente.
MALL-UMWELTSYSTEME Huefinger Str. 39 - 45 D-78166 Donaueschingen-Pfohren, Alemania <www.mall.info>	Proveedor más grande en Alemania para: – Uso de aguas pluviales – Infiltración y retención de aguas pluviales – Cisternas, filtros de arena – Pretensados de concreto – Humedales artificiales – Filtros biológicos – Filtros de membrana para tratamiento de aguas grises

SEGUNDA PARTE

Estudio de caso: Bolivia

1. Distribución de fuentes de agua en el país

Bolivia no se encuentra entre los países que carecen de agua; más bien, en el contexto internacional es uno de los países con mayor cantidad de agua disponible, en promedio. Pero la distribución de las fuentes de agua es sumamente heterogénea. Existen grandes zonas desérticas en la cuenca endorreica del altiplano, en especial en el altiplano sur, y también en la cuenca del Paraná, en el Chaco. Existen extensas zonas con aguas salinizadas por sulfatos, cloruros y/o boratos en los departamentos de Oruro, Potosí y Chuquisaca, aguas contaminadas por cientos de años de explotación minera, en los mismos departamentos, y contaminación natural por arsénico en las fuentes de agua del altiplano sur. Los ríos del oriente del país sufren de contaminación con mercurio por la minería aurífera y por la aplicación de agroquímicos en los grandes monocultivos de soya, caña de azúcar y otros. En los alrededores de los grandes centros urbanos, el agua está contaminada por las aguas servidas domésticas e industriales.

Por este motivo, para zonas extensas son imprescindibles medidas de ahorro de agua y tecnologías alternativas en abastecimiento y saneamiento. Los departamentos más afectados por escasez de agua son Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija. Las aguas superficiales, en muchos casos, no sirven para riego y menos para el consumo humano, por su salinidad, por el contenido de elementos nocivos como el boro –en elevadas concentraciones– y contaminación natural o antropogénica por elementos traza.

A esto se suman los cambios globales en el clima, que también afectan ya a las fuentes de agua. Los glaciares situados en la Cordillera de los Andes perdieron más de la mitad de su nieve perpetua en los últimos 24 años, habiéndose

reducido en 133.000 hectáreas durante el periodo 1978 - 2001 (*Estudio de uso de la tierra*, Superintendencia Agraria de Bolivia, 2001). El Instituto de Investigaciones Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés, de La Paz, midió un retroceso del frente del glaciar de Zongo de 5 m en un solo año, entre 2003 y 2004 (Argollo, com. pers., 2005).

Si adicionalmente tomamos en cuenta la contaminación de las aguas naturales con sustancias tóxicas de origen antropógeno, especialmente con metales pesados generados por la actividad minera, las fuentes de agua limpia se reducen considerablemente. Las grandes urbes aportan con otro tipo de contaminantes, en su mayoría orgánicos, y los ríos que pasan por las ciudades se han reducido a canales de aguas residuales, por ejemplo, el río Choqueyapu en la ciudad de La Paz, el río Rocha en Cochabamba y, en menor grado, el río Piraí en Santa Cruz. En los alrededores de la ciudad de Santa Cruz, a las aguas residuales municipales se suman las aguas servidas de la agroindustria que contienen nutrientes, pesticidas y materia orgánica en gran cantidad.

Se calcula que un 80% de las enfermedades del país están relacionadas de alguna manera con la problemática del agua (Van Damme, 2002).

Por estos motivos, y por la deficiencia en dotación segura de agua potable, Bolivia, junto con Haití, son los países de prioridad de la OMS (Daza, OPS, com. pers., 2003).

2. Situación actual de gestión y manejo de aguas

2.1. Situación legislativa y administrativa

Las normas que regulan la prestación y utilización de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, así como el marco institucional que los rige, fueron establecidas a través de la promulgación de la Ley N° 2066 en fecha 11 de abril del año 2000.

Mediante dicha ley se crea la Superintendencia de Saneamiento Básico (SISAB), incorporando los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario al Sistema de Regulación Sectorial (SIRESE).

En este contexto queda establecido que el Ministerio de Servicios y Obras Públicas, actualmente el Ministerio del Agua, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, es la cabeza del sector de Saneamiento Básico, con tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico y con la facultad, entre otras, de dictar políticas, leyes, normas y reglamentos del sector.

La Superintendencia de Saneamiento Básico tiene como atribuciones otorgar concesiones, licencias y registros a las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (EPSA).

El Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional promovieron el proceso de privatización del suministro de agua en los países en vías de desarrollo, tal como ocurrió en Bolivia. Entraron varias empresas privadas al mercado del agua en las ciudades grandes, por ejemplo en Cochabamba y La Paz, lo que llevó a varias protestas por el alza de los precios del agua principalmente y causó la denominada "guerra del agua" en Cochabamba el año 2002, la que terminó con el retiro de la empresa privada (Kueschner-Pelkmann *et al.*, 2007). La política del nuevo gobierno es la no privatización del agua, por ser un bien común e imprescindible para la vida.

2.2. Estado actual de abastecimiento de la población con agua y saneamiento

Para la dotación de agua potable a la población, Bolivia cuenta con variadas fuentes: los glaciares de las cordilleras cuyas aguas se captan por represas, por ejemplo para el abastecimiento de las ciudades de La Paz y El Alto; las aguas superficiales de lagos y ríos; y las aguas subterráneas. En gran parte del país se realiza la provisión de agua potable mediante pozos perforados, ya sea por la escasez de aguas superficiales, por su contaminación o por su arrastre de sedimentos. Esta situación puede evidenciarse en la cuenca amazónica, en la que el excesivo arrastre de sedimentos hace que su captación y tratamiento sean demasiado costosos.

Los sistemas de agua potable están orientados principalmente en función al tipo de fuentes de agua, es decir que en los sistemas que se proveen mediante pozos la dotación es por bombeo, ya sea directamente a la red o a través de tanques elevados de distribución. Para el caso de sistemas de captación de aguas superficiales mediante represas, la dotación es por gravedad o bombeo.

Paralelamente, los sistemas de potabilización consisten en una simple desinfección para el caso de extracción de aguas subterráneas, o en un sistema de tratamiento completo (floculación, sedimentación, filtración y desinfección) para el caso de aguas superficiales.

Según el Censo 2001, el 63% de la población boliviana vive en ciudades. En el año 1985 el país se había vuelto ya mayormente urbano (estimación, porque no hubo censo en 1985), es decir, en ese tiempo la mitad de la población era rural y la mitad urbana. El proceso de urbanización en Bolivia es todavía moderado, comparado con otros países latinoamericanos.

Existen cuatro ciudades importantes (La Paz, El Alto, Cochabamba y Santa Cruz), en las cuales se concentra el 80% de la población urbana de Bolivia.

A continuación se muestra un cuadro con diversos indicadores sobre las empresas en el área urbana.

Tabla 56
Empresas de agua en 13 ciudades de Bolivia y sus servicios

Ciudad	Cobertura de agua potable[b]		Cobertura de alcantarillado		N° de conexiones de agua potable (en mil)[b]	N° de conexiones con medidor (%)[b]	Fuentes de abastecimiento[a]	Product. del personal[b]	Tratamiento del agua potable[a]	Tratamiento de aguas servidas[a]	Agua no cont. %[b]
	Población servida (en mil)	%	Población servida (en mil)[a]	%[b]							
La Paz El Alto	1.639	99.8	1.011	80	242	99,7	Superf. Subterr.	1,68	Planta de tratamiento	No Lagunas	31
Santa Cruz	871	97	398	51	135	98,0	Subterr.	2,98	Desinfección	Lagunas	30
Cochabamba	594	48,4	257	50	59	81,2	Subterr. Superf.	7,08	Planta de tratamiento	Lagunas	44
Sucre	224	89	142	74	31	100	Superf.	5,88	Planta de tratamiento	Lagunas	21
Potosí	143	91	85	79	24	76	Superf.	6,00	Planta de tratamiento	No	29
Trinidad	80	63	s.d.	40	8	0	Subterr.	9,90	Desinfección	Lagunas	49
Oruro	209	92,3	s.d.	56	36	59.6	Subterr.	4,79	Desinfección	Lagunas	48
Tarija	162	87	104	76	24	56.5	Subterr. Superf.	6,31	Planta de tratamiento	Lagunas	33
Montero	90	97	18	63	14	100	Subterr.	5,70	Desinfección	Lagunas	16
Guayaramerín	36	74	s.d.	4	5	100	Superf.	7,40	Desinfección	Lagunas	21
Camiri	28	84	14	48	5,1	100	Superf.	5,48	Desinfección	Lagunas (en ejec.)	46
Yacuiba	58	80	33	62	7,6	99,5	Subterr. Superf.	4,50	Planta de tratamiento	Lagunas	37

a = ANESAPA. 2005
b = SISAB, 2005
product. del personal = Número de empleados por cada 1.000 conexiones de agua potable
Agua no cont. = Agua no contabilizada
s.d. = sin datos
Superf. = Aguas superficiales, generalmente embalses
Subterr. = Aguas subterráneas
En ejec. = actualmente en ejecución

A partir de estos datos se puede verificar que las ciudades que cuentan con pozos subterráneos realizan sólo desinfección en el proceso de potabilización del agua y las que se proveen de aguas superficiales figuran con plantas de tratamiento.

Respecto al tratamiento de aguas residuales, de 13 empresas del área urbana, sólo dos, ubicadas en La Paz y Potosí, no cuentan con ningún sistema de tratamiento. En las otras ciudades se implementaron lagunas de estabilización sin aireación, por ser el sistema más económico.

Se ha observado un notable incremento en la cobertura de servicios de agua potable entre 1976 y 2002; sin embargo, no se ha distribuido equitativamente, pues se observa diferencias principalmente entre el sector urbano y rural, además de diferencias entre los departamentos. Para un correcto análisis de las cifras de cobertura (ver tabla 57) es importante considerar que sólo están referidas a la creación de infraestructura. Sólo cinco de las nueve ciudades capitales de departamento cuentan con servicio permanente las 24 horas. La ciudad de Cochabamba enfrenta los mayores problemas de abastecimiento de agua potable, seguida de las ciudades de Potosí, Sucre y Cobija. En el área rural existen muchas

dificultades en el abastecimiento de agua potable; por ejemplo: la dispersión de la población, poca capacidad municipal para generar y canalizar proyectos, y poco interés para la inversión por parte del sector privado. En el área rural, además de tener bajos porcentajes de cobertura, en la mayoría de los casos el abastecimiento es a través de fuentes públicas y no de conexiones domiciliarias, como ocurre mayormente en el área urbana (Van Damme, 2002).

Pese a las inversiones realizadas en el sector de agua en los años 90, persisten todavía grandes deficiencias por superar. Tal es así que en la dotación de agua potable la cobertura nacional alcanza a un 68% y la prestación de servicios de alcantarillado sanitario llega al 43% a escala nacional (Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, [s/f]).

Existen ligeras diferencias entre las fuentes bibliográficas acerca de la cobertura de los servicios en el área urbana y rural. Con la finalidad de contar con una sola referencia se asumen los datos del Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos (2001).

Tabla 57
Cobertura de servicio de agua potable y saneamiento en el año 2000

Agua potable (%)		Saneamiento (%)	
Urbano	Rural	Urbano	Rural
90	39	69	33

Fuente: Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, 2001.

Del 33% de población en el área rural que cuenta con servicios de saneamiento, 2% dispone de alcantarillado y 30% de servicios de disposición de excreta mediante letrinas (INE, 2001, citado en Torrico, 2004).

Adicionalmente, cabe mencionar que aún no se logró una continuidad de 24 hrs./día en la provisión de agua potable a escala nacional. Los niveles de tratamiento de aguas residuales alcanzan a un 28% en todo el país. Generalmente, en Bolivia se instalan redes de alcantarillado separadas de aguas servidas y aguas pluviales.

Estas cifras muestran que, tradicionalmente, se ha puesto un fuerte énfasis en el abastecimiento de la población con agua potable, con una deficiencia todavía alta con relación a la evacuación segura de las aguas servidas y su tratamiento adecuado, deficiencia que tiene su razón fundamental en los altos costos que representa la ejecución de sistemas de alcantarillado sanitario convencionales y de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se trata de un problema típico para los países en vías de desarrollo, especialmente en las zonas rurales, que depende, por un lado, de la percepción de la población, los profesionales en el campo, los tomadores de decisión y los financiadores, que ven el agua potable como primera necesidad y, por otro lado, de la falta de fondos para la imple-

mentación de todo el paquete de manejo de agua, incluida la purificación de las aguas servidas, este último especialmente porque sólo se toman en cuenta como opción los sistemas centralizados.

Desde esta misma óptica, el desarrollo de apenas el 28% de sistemas de tratamiento de aguas servidas en el área urbana confirma el mencionado orden de prioridades, ya que las ciudades que han alcanzado un porcentaje mayor al 50% de cobertura de alcantarillado sanitario proceden a destinar fondos y esfuerzos en la ejecución de sistemas de tratamiento de aguas servidas.

Otro elemento importante para considerar dentro de las deficiencias de sostenibilidad de los servicios está referido al bajo nivel de recaudación. Esto se relaciona con el hecho de que de un 100% de agua producida, se factura sólo un 60% y se recauda en promedio el 45%. Las causas son fundamentalmente un alto porcentaje de agua no contabilizada por falta de micromedición, conexiones clandestinas, etc., así como una baja costumbre de pago de los usuarios y pérdidas por la red de distribución.

Todas estas deficiencias tienen su origen en dos componentes importantes: en la deficiencia en inversiones que permitan mejorar la prestación de servicios y la debilidad institucional de las empresas, que le deberían otorgar sostenibilidad a las obras ejecutadas.

Con estos antecedentes, a fines de la gestión 2004 se promulgaron dos decretos supremos: el Decreto Supremo 27486, referido a la creación de la Fundación de Apoyo a la Sostenibilidad (FUNDASAB), y el Decreto Supremo 27487, referido a la Política Financiera en el Sector de Agua y Saneamiento.

La nueva Política Financiera, entre sus contenidos más importantes, contempla en primer lugar la accesibilidad de todas las empresas operadoras, ya sean públicas, cooperativas o privadas, a financiamientos concesionales y donaciones, de acuerdo a las características socioeconómicas de cada población, condiciones que no existían hasta el presente en la legislación sectorial.

Paralelamente, la FUNDASAB proveerá de servicios de asistencia técnica y capacitación, dotando de instrumentos de fortalecimiento institucional a las operadoras, orientados a posibilitar la sostenibilidad y mejoramiento en la prestación de servicios.

2.3. Políticas de ahorro de agua

En la actualidad no existen políticas integrales de ahorro de agua. Solamente se tienen mensajes y campañas por parte de los operadores de estos servicios, dirigidas a evitar el derroche de agua en los diversos usos domésticos.

En el mercado boliviano, prácticamente no se venden artefactos y equipos de bajo consumo. Actualmente han llegado a Bolivia artefactos de bajo consumo de agua para grifos de lavamanos y lavaplatos, además de duchas de bajo consumo, ambos trabajan con la adición de aire al chorro de agua para reducir

la cantidad de flujo a la mitad aproximadamente. En algunas pocas tiendas se ofrecen inodoros con un consumo mínimo de 6 litros por uso. En general, los inodoros consumen entre 9 y 12 litros por barrido, y aun con esta cantidad en muchas ocasiones no se limpian adecuadamente, lo que depende de su diseño y de instalaciones erróneas. Los grifos, duchas y sanitarios muchas veces son de mala calidad y además son mal mantenidos, por lo que frecuentemente se observan goteos y rebalses.

Como no existen medidores de agua en cada vivienda individual y los precios de consumo de agua son bajos, no se siente la necesidad de ahorrar agua en la vivienda. No sólo en los barrios ricos, sino en estratos medios y aun en zonas populares se tiene la costumbre de limpiar los patios y aceras con la manguera de agua.

La ausencia de introducción de políticas acompañadas de la fabricación y/o importación de artefactos y equipos de bajo consumo hace que este tema sea incipiente en el país. A esto se debe sumar, especialmente en poblaciones intermedias y en zonas periféricas urbanas, el conflicto del uso del agua para fines domésticos y para riego de cultivos, como un medio adicional de subsistencia.

La política de instalación obligatoria de micromedidores en cada conexión, establecida en los contratos de concesión anteriores con la Superintendencia de Saneamiento Básico, tiene el propósito de generar una mejor economía para las empresas, en la medida en que se cobra lo que se consume, a la vez que se propicia el cuidado y un uso adecuado del agua por parte de los usuarios.

En casos de escasez de agua potable en los municipios, las medidas generalmente adoptadas son: el racionamiento del agua para toda la población y la restricción, a pocas horas diarias, del abastecimiento a cada vivienda. En general, estas medidas no tienen el impacto deseado porque en las horas de dotación se realiza un aprovisionamiento excesivo que va más allá de las necesidades del usuario y que da como consecuencia un mayor derroche de agua.

Por otro lado, en los barrios periurbanos no siempre se tiene una red de distribución a las viviendas, más bien la población se abastece por piletas públicas, y en muchas áreas rurales existe fuerte escasez de agua o el agua disponible es de mala calidad, no apta para el consumo humano (ver subtítulo 1).

En las distintas zonas de las ciudades, el consumo de agua por persona es muy diferente, dependiendo principalmente del nivel socioeconómico de la población. Una de las medidas más bajas se encuentra en la ciudad de El Alto, con 58 litros diarios por persona. En el centro de la ciudad el consumo es de 102 litros y en el sur de la ciudad, la zona con un alto porcentaje de familias acomodadas, el consumo promedio alcanza los 116 litros diarios por persona (Álvarez, com. pers., 2005). Estos datos muestran que el gasto promedio en la ciudad de La Paz es bastante bajo en todas las zonas, comparado con las cifras de consumo en los países industrializados.

En la ciudad de La Paz existen tarifas para el agua potable por rangos de consumo (bajo, medio, medio alto y alto) y por categorías (doméstico, comer-

cial, industrial y estatal), donde la categoría doméstica, de 0 a 30 m³, tiene una subvención cruzada de costos por los otros rangos de consumo más altos (ver tabla 58) (Álvarez, com. pers., 2005).

Tabla 58
Tarifas de agua potable en La Paz y El Alto

Consumo en m³	Tarifas en $us/m³
1 a 30	0,2214
31 a 150	0,4428
151 a 300	0,6642
> 301	1,1862

Fuente: Aguas del Illimani, La Paz.

La Ley de Saneamiento Básico establece que se pagan diferenciadamente el agua de consumo y el agua servida. En la realidad, no se mide el agua servida, sino que se toma para el cálculo del precio una alícuota constante de las aguas de consumo, que está contenida en las tarifas de agua potable (Álvarez, com. pers., 2003).

3. Sistemas implementados

En general, los sistemas implementados de abastecimiento de agua y de saneamiento son sistemas convencionales centralizados. Por otro lado, existen pocos sistemas naturales y descentralizados para el tratamiento de aguas, se implementaron algunos pocos sistemas de saneamiento ecológico y se promueven sistemas alternativos de desinfección del agua en áreas remotas. Estos sistemas novedosos se describirán en detalle más adelante.

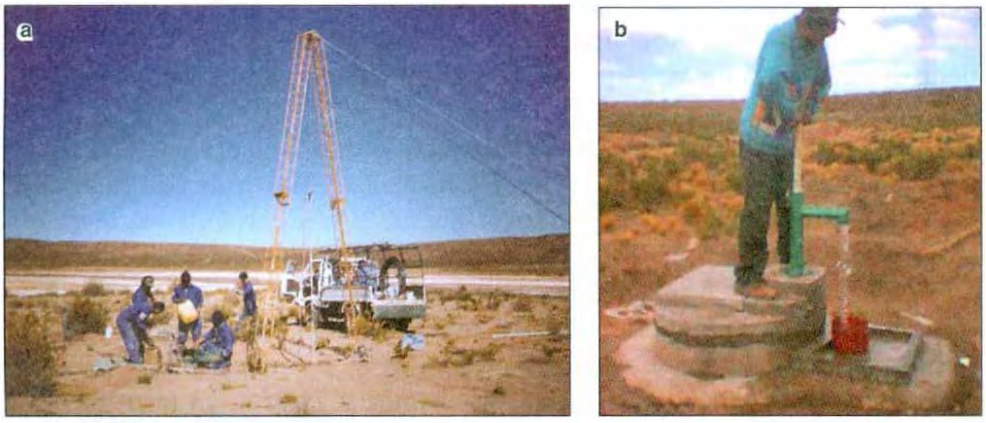
3.1. Sistemas de agua potable

En las grandes ciudades, los derechos de agua están controlados por empresas municipales. Las empresas, en un proceso de concertación con la Superintendencia de Aguas y los gobiernos municipales, establecen los precios del agua potable, de las aguas servidas domésticas e industriales. El costo de recolección de aguas servidas y tratamiento constituye un porcentaje del costo por metro cúbico del agua potable. No existe un costo separado para aguas servidas y el escurrimiento de aguas pluviales de terrenos privados.

En los municipios pequeños y en el área rural existen comités o cooperativas de agua autónomos (formas de constitución de EPSA), organizados por la misma población, los que implementan las estructuras técnicas necesarias de dotación de agua (captación de vertientes, perforación de pozos etc.), se responsabilizan

de su mantenimiento y definen la cuota de entrada a la cooperativa y el precio del agua en conjunto con la población beneficiada.

Figura 172
Perforación manual de pozos en el altiplano



a: perforación de pozo; b: pozo terminado con bomba manual
Fotos: Sumaj Huasi.

Las grandes plantas de potabilización usan sistemas de floculación y decantación para la purificación de las aguas y la cloración para su desinfección. Se prefiere la cloración por dos razones, por el bajo precio y por su presencia permanente en la red de distribución hasta la llegada del agua al consumidor, lo que evita el crecimiento de microorganismos en la red y previene probables contaminaciones por filtraciones de aguas sucias hacia los tubos.

En el campo se propaga generalmente el uso de hipoclorito para la desinfección del agua, pero no siempre se aplica.

3.2. Higienización del agua potable por desinfección solar

En el país se propaga el método SODIS (ver capítulo V, subtítulo 2.1.) para la desinfección solar de aguas mediante botellas de PET desechables, que se exponen al sol sobre los techos de calamina de las casas.

Se pudo demostrar la validez del método primero en una provincia de Cochabamba, bajo condiciones locales, y la factibilidad de implementarlo en otras regiones rurales y periurbanas de Bolivia. Actualmente, se difunde en todas las regiones rurales del país. SODIS es usado a nivel doméstico para tratar pequeñas cantidades de agua destinada al consumo humano. Como se trata de un método de tecnología sencilla y muy bajo costo, es aceptado en gran medida por la población.

La Fundación SODIS para Latinoamérica tiene su sede en la ciudad de Cochabamba. Su objetivo es la difusión de la idea, por dos actividades principales,

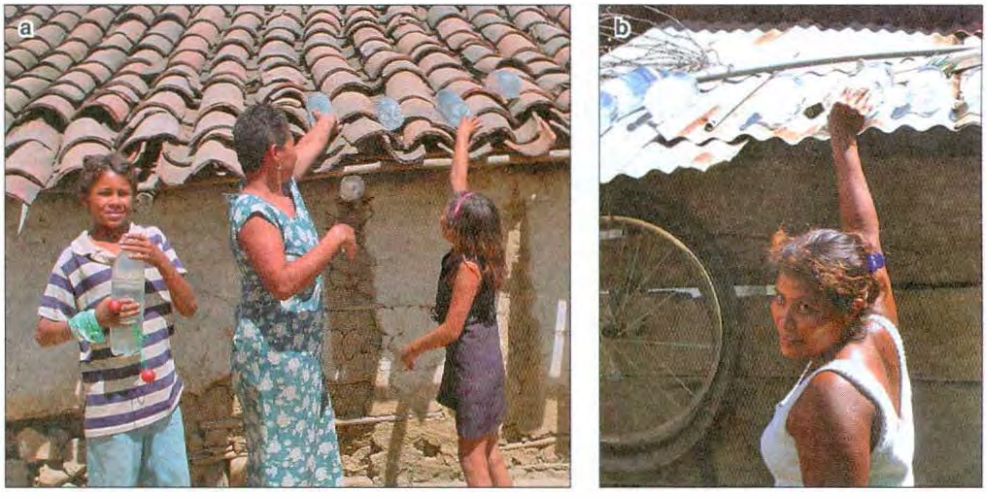
la coordinación con los entes estatales, especialmente el Ministerio de Salud y el Viceministerio de Servicios Básicos dependiente del Ministerio de Agua, y la promoción y seguimiento de proyectos.

El Ministerio de Salud, junto con la Fundación, está realizando el proyecto Agua Segura para Comunidades Rurales de Bolivia, el cual está llevado a cabo por el Ministerio de Salud, dentro del Programa EXTENSA (Extensión de cobertura en salud). Este programa llega a 2.400 comunidades rurales de Bolivia y tiene dentro de sus mensajes preventivos el tratamiento de agua por cloración, hervor y SODIS.

En la parte de la investigación, el proyecto se apoya en el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA) de la Universidad Mayor de San Simón, de Cochabamba (UMSS). Se estudia principalmente el comportamiento de los microorganismos durante el proceso de exposición solar del agua.

Para evaluar la eficiencia de la desinfección bajo las distintas condiciones climáticas de Bolivia, se llevaron a cabo investigaciones en el trópico, altiplano y valles. Para el verano se encontraron niveles de desactivación de bacterias coliformes fecales entre 99,9% en Cochabamba y 74,85% en el trópico del Chapare; la radiación variaba entre 211 W-min/m^2 en Oruro y 74 W-min/m^2 en el Chapare; la temperatura máxima al interior de las botellas variaba entre 40° C en el Chapare y 45° C en Oruro (Encinas, 2003). Lo anterior muestra que en ninguno de los casos se llegó a temperaturas óptimas de alrededor de 60° C. La desactivación de los microorganismos en tan alto porcentaje se explica por el efecto sinérgico entre la temperatura y la radiación ultravioleta (ver capítulo

Figura 173
Uso de la técnica SODIS



a: uso de superficie opaca (El Salvador); b: uso de superficie reflectora (Nicaragua)
Fotos: Fundación SODIS

V). Los valores medidos por ENCINAS incluyen días nublados en el Chapare. En estudios más recientes, todavía no publicados, se encontraron tasas más altas de desactivación de bacterias (Saladin com. pers., 2005).

Más de 15 ONG realizan la difusión hacia la población en todo el país, con mayor énfasis en el altiplano.

3.3. Higienización del agua potable por filtros de cerámica

El uso de filtros de cerámica para tratar el agua de consumo humano se diseminó por muchos años en hogares de ingresos medios y altos. Los filtros y sus velas respectivas se consiguen en el mercado nacional.

Actualmente, existen proyectos para difundir este método en hogares de bajos ingresos mediante la construcción y promoción de filtros de menor precio.

Las primeras experiencias se han obtenido en Charinco, una comunidad rural de aproximadamente 360 habitantes, cerca de la ciudad d Cochabamba, a 2.700 m de altitud. Ninguna vivienda en este lugar tiene letrinas u otras facilidades. El agua para consumo humano, en temporada de lluvia, se recoge del agua pluvial y en época seca se consigue por canales abiertos de irrigación. La mayoría de las casas tiene pequeños estanques superficiales para el almacenamiento del agua, que se llenan periódicamente (Clasen *et al.*, 2004)

Figura 174
Filtros de agua

Foto: Suma| Huasi

La metodología de purificación del agua de consumo humano en esta comunidad consiste en un sistema casero de filtrado de agua basado en la gravedad. El sistema consiste en dos baldes plásticos de 15 litros, fabricados localmente, que son colocados uno encima del otro, dos velas Katadyn de cerámica porosa de 240 mm, por las cuales pasa el agua del balde superior al balde inferior purificándose en este camino, y un grifo para recibir el agua purificada del balde inferior. Las velas Katadyn Ceradyn tienen poros de 0,2 micrones y están impregnadas con plata coloidal. El costo de los materiales (baldes, grifos) y la fabricación (agujereado) es de aproximadamente 7,5 $us. Las velas cuestan cada una aproximadamente 8,45 $us, de modo que el costo de la primera instalación del equipo es de aproximadamente 25 $us. Las velas tienen una vida útil de 2 a 3 años (Clasen *et al.*, 2004).

El mantenimiento de los filtros consiste en la limpieza de las velas con una esponja cada vez que el flujo se reduce por formación de biláminas o sedimentación de partículas sobre el filtro (Clasen *et al.*, 2004).

La efectividad del filtro no se reduce por la turbiedad del agua de origen, así que se puede usar en situaciones cuando la desinfección solar SODIS no es posible. Los filtros remueven efectivamente todo tipo de bacterias y parásitos, aunque todavía se tiene que investigar su eficiencia en remoción de virus, especialmente rotavirus y hepatitis A (Clasen *et al.*, 2004).

Un 63% de los usuarios encontraron que el filtro no siempre era suficientemente rápido para proveer agua a toda la familia (Clasen *et al.*, 2004).

Varios usuarios del sistema (13%) se quejan por el sabor a plástico que tiene el agua filtrada (Clasen *et al.*, 2004), siendo esto un problema también en el sistema SODIS e inclusive en todas las aguas comercializadas en Bolivia para consumo humano.

3.4. Sistemas de saneamiento

3.4.1. Sistemas de alcantarillado

Las aguas servidas se vierten directamente a la calle o a un sistema de alcantarillado. La mayoría de los sistemas de desagüe por alcantarillado son sistemas separados que transportan las aguas servidas y las aguas pluviales de escurrimiento en tubos distintos. Las aguas pluviales se llevan directamente a un cuerpo receptor, un río o un lago. Las aguas servidas toman el mismo camino o ingresan a una planta de purificación, en general lagunas de estabilización, que después vierten sus efluentes a un cuerpo receptor.

En el área rural, generalmente, sólo se construyen sistemas de alcantarillado para las aguas servidas domésticas, mientras que las aguas pluviales se dejan escurrir superficialmente. Esto evita costos en el dimensionamiento de los tubos, pero por otro lado, puede llevar al taponamiento de la tubería cuando no se usa suficiente agua o cuando la provisión de las viviendas con agua potable

es irregular o restringida, por escasez. También las conexiones ilícitas de aguas pluviales pueden ocasionar problemas causando sobrecargas hidráulicas en la época de lluvias.

Muchas viviendas individuales y urbanizaciones, también en el área urbana, están conectadas a pozos sépticos, que son una fuente de contaminación para los suelos y las aguas subterráneas. El lodo acumulado en estas cámaras, en condiciones ideales, es dispuesto en un relleno sanitario.

Las aguas servidas generalmente no se reutilizan en el riego de terrenos agrícolas, tampoco los efluentes tratados de las lagunas de estabilización, y menos se tiene normas para su reuso seguro. Los ríos contaminados con aguas residuales municipales e industriales en muchos casos sirven como fuente de agua de riego, por ejemplo, Río Abajo de la ciudad de La Paz, reciclando con las verduras todo tipo de microorganismos patógenos, ingredientes nocivos para la salud y bacterias resistentes a antibióticos hacia el consumidor. Un estudio del Instituto de Ingeniería Sanitaria de la UMSA sobre la contaminación de las lechugas producidas en la zona Río Abajo (La Paz) con salmonelas, descubrió ya hace años cepas resistentes a varios antibióticos (Iñiguez, 1977).

Tecnología condominial (estudio de caso: urbanizaciones de la ciudad de El Alto)

Un Sistema de Red Condominial es una forma de instalación y uso compartido de los servicios de agua y/o alcantarillado por un grupo de usuarios. Se puede aplicar a urbanizaciones, condominios y manzanos.

En el caso de las aguas servidas, la recolección se realiza por medio de un ramal "privado" cuya inversión, operación y mantenimiento es responsabilidad de los usuarios. Una red o ramal condominial es una tubería de recolección de las aguas servidas en un conjunto de construcciones, con descarga a la red publica en un único punto.

Esta tecnología de minimizar los costos de construcción de una red de alcantarillado en condominios o urbanizaciones ha llegado de Brasil. Se trata de establecer una red interna de la urbanización, que se conecta finalmente a los ramales de la matriz.

El sistema de alcantarillado condominial tiene varias ventajas (en base a Martínez & Quitón, 2002):

- Menor extensión de redes = menor costo de inversión.
- Menores profundidades = menor excavación = menor costo de inversión.
- Menores diámetros de tubos (desde 4") = menor costo de inversión.
- Menores cantidades de cámaras de inspección = menor costo de inversión y menor costo de mantenimiento.
- Independencia entre ramales y redes, principalmente en la operación y mantenimiento del sistema.
- Mejora las pendientes en todo el sistema, sobre todo en terrenos planos.

Sólo con adoptar la tecnología alternativa, el ahorro en materiales utilizados, volumen de excavación, longitud de tuberías, etc., es de 24%. Cuando los vecinos participan en la ejecución de las obras, los ahorros alcanzan hasta un 38% (Martínez & Quitón, 2002).

El proyecto piloto ubicado en la urbanización Huayna Potosí, de la ciudad de El Alto, se conoce como "Iniciativa Periurbana de Agua y Saneamiento" y contó con un comité técnico incluyendo a la Superintendencia de Saneamiento Básico, la Prefectura de La Paz, y las alcaldías de La Paz y El Alto. El proyecto piloto funcionó entre junio de 1998 y diciembre de 2001 (Martínez & Quitón, 2002).

Para hacer posible la aplicación de la tecnología de redes condominiales en Bolivia, se crearon los instrumentos legales normativos y regulatorios: actualización de la Norma Boliviana NB 688 de instalaciones sanitarias y del Reglamento Nacional RN 688 para el diseño de sistemas de alcantarillado, aprobados y ratificados en diciembre de 2001 (Martínez & Quitón, 2002).

El sistema condominial exige un cambio fundamental de parte de las empresas proveedoras, en sentido de tener que incluir no sólo ingenieros civiles y sanitarios en el diseño e implementación de los sistemas, sino también personal para el trabajo social con los usuarios, tarea que fue resuelta satisfactoriamente en la empresa paceña a cargo (Martínez & Quitón, 2002).

En un estudio comparativo de la urbanización Huayna Potosí (con red condominial) con una urbanización similar en condiciones socioeconómicas y topografía (3 de Mayo), en la misma ciudad de El Alto, pero con conexiones de alcantarillado convencionales fue demostrado, que en la zona "condominial" el 77% de las viviendas se conectaron al sistema, mientras que en la urbanización "convencional" sólo 16%. Estos datos muestran que la participación imprescindible de los usuarios en el sistema condominial logra una mayor apropiación y provecho del sistema (Martínez & Quitón, 2002).

Finalmente, se implementaron sistemas de alcantarillado condominial en aproximadamente 2.500 lotes, en siete barrios de la ciudad de El Alto, eso significa un 97,7% de todos los lotes habitados en estas zonas definidas por el proyecto. La conexión al alcantarillado fomentó la instalación de sanitarios intradomiciliarios y disminuyó sustancialmente la defecación al aire libre (Canelli, 2007).

Los sistemas condominiales todavía precisan una mayor evaluación para juzgar las ventajas técnicas y económicas. Puede causar problemas si el alcantarillado no se lleva por áreas públicas como las veredas, sino por los patios privados, por la servidumbre entre propietarios.

3.4.2. Lagunas de estabilización

En la mayoría de las ciudades grandes de Bolivia (El Alto, Cochabamba, Sucre, Santa Cruz, Tarija, Tupiza, Montero, Oruro, Cobija, Yacuiba, Guayaramerín) se instalaron plantas de purificación de las aguas servidas municipales, en general

lagunas de estabilización. En la ciudad de Sucre se encuentra la planta más moderna, que combina filtros percoladores y lagunas de estabilización, además de haber planificado un sistema de secado de lodos mediante gramíneas.

3.4.3. Humificación de lodos mediante gramíneas en Sucre

En Sucre se diseñó un tratamiento moderno de lodos, con secado de los mismos mediante el uso de plantas. Los lodos se esparcen y luego se siembran gramíneas en toda su superficie. Estas plantas aceleran el proceso de secado por su evapotranspiración, las raíces evitan la formación de trozos grandes y duros durante el proceso de secado, y le dan al producto final una estructura grumosa (ver capítulo VIII, sobre la humificación de lodos en Egipto). La materia verde se tapa con otra capa de lodo y se descompone durante el tiempo de secado.

Como la planta de purificación en Sucre se construyó hace pocos años, el secado de lodos descrito aún no se ha implementado.

3.4.4. Humedales artificiales

Los primeros trabajos con plantas acuáticas, en especial con la totora, para la depuración de aguas se desarrollaron por recomendación de la Dra. Kaethe Seidel, la primera experta en el campo de la descontaminación de aguas mediante macrófitas a escala mundial, durante su visita a Bolivia en el año 1980. Desde entonces se realizaron las primeras plantas experimentales y actualmente existen unos pocos sistemas de tratamiento de aguas servidas mediante plantas acuáticas, como parte de un sistema de lagunas de estabilización (en la ciudad de El Alto), para pequeños pueblos (por ejemplo, Copacabana y Desaguadero), para urbanizaciones, para laboratorios universitarios, para la descontaminación de aguas mineras y para el parque industrial de Santa Cruz.

En los siguientes puntos se describen algunos de estos ejemplos en forma detallada.

Estudio de caso: experimentos preliminares con la totora como agente de descontaminación de aguas

Los primeros experimentos de laboratorio se realizaron en el Instituto de Química de la UMSA, exponiendo las plantas a diferentes contaminantes como metales pesados, cianuro, niveles extremos de pH y otros. Los resultados mostraron buenos niveles de descontaminación en casi todos los casos. La mayoría de estos trabajos no se publicaron, sólo son disponibles como informes inéditos o trabajos de tesis (Arze 1983, 1984; Arze & Álvarez, 1990; Arze *et al.*, 1989; Carvajal, 1987; Díaz del Castillo, 1985; Espinoza, 1994; Gehler, 1984; Salm, 1980, 1983; Salm & Arze, 1982).

A partir de 1990 se implementaron las primeras plantas piloto en forma de cascadas de recipientes (figura 175), y en forma de lagunas plantadas con totora, en el Campus Universitario de la UMSA, en Cota Cota (Soehner, 1989, 1991; Taucer, 1991, 1993). Aparte de la totora se utilizaron otras plantas acuáticas que crecen naturalmente en las zonas altas de Bolivia (*Juncus andicola*, *Phragmites australis*, *Typha dominguensis*). En todos estos experimentos se observó que la totora se adapta mejor a las aguas servidas y tiene un desarrollo mucho más acelerado.

Figura 175
Cascadas experimentales de purificación de aguas con totora

Foto: Margot Franken.

Estudio de caso: laguna de totora en la planta de purificación Puchuckollo de la ciudad de El Alto

En la planta de Puchuckollo se incluyeron lagunas plantadas con totora (*Schoenoplectus californicus ssp. totora*) al final de una serie de lagunas de estabilización.

Alrededor del 70% de la población alteña tiene alcantarillado. Las aguas servidas se purifican en las lagunas de estabilización de Puchuckollo. Estas lagu-

nas de estabilización sirven a una población continuamente creciente y resultan pequeñas para la cantidad de personas conectadas. Las aguas efluentes ingresan a una bahía del lago Titicaca. (Gisberth, com. pers., 2003).

"La población conectada actualmente (2001) se estima a unos 400.000 habitantes, lo que corresponde a una cobertura de 64%. Llega a la planta un caudal medio de unos 250 litros/s, que aumenta hasta 1.800 litros/s en tiempos de lluvia. Pues aunque se trata de un sistema separador, existen conexiones de aguas pluviales que aumentan el caudal cuando llueve. La planta consiste en 48 hectáreas de lagunas de estabilización dispuestas en dos series (II y III), formadas cada una por seis lagunas: la primera anaeróbica, las dos subsiguientes de tipo facultativo, dos de maduración y una final de pulimiento. El sistema garantiza un tratamiento biológico con una retención de las aguas servidas de 28 días, lo que elimina casi en 99,9% la contaminación orgánica y bacteriológica. Las aguas purificadas se devuelven al punto de descarga en el Río Seco, cumpliendo así con las condiciones definidas en la Ley del Medio Ambiente." "La totora está plantada sobre un sustrato de 20 cm de tierra". (Medmin, 2003).

Figura 176
Laguna final de la planta depuradora de Puchuckollo, ciudad de El Alto

Foto: Igor Reinhard.

La laguna de totora se encuentra al final del sistema, así que se trata de una laguna de pulimento. El flujo de agua es superficial, la rizósfera de las plantas y el sustrato juegan un papel mínimo en la purificación. Las plantas extraen algunos nutrientes del agua y en especial proporcionan una superficie grande

para el crecimiento de bacterias aeróbicas descomponedoras, intensificando de esta manera el proceso de purificación final.

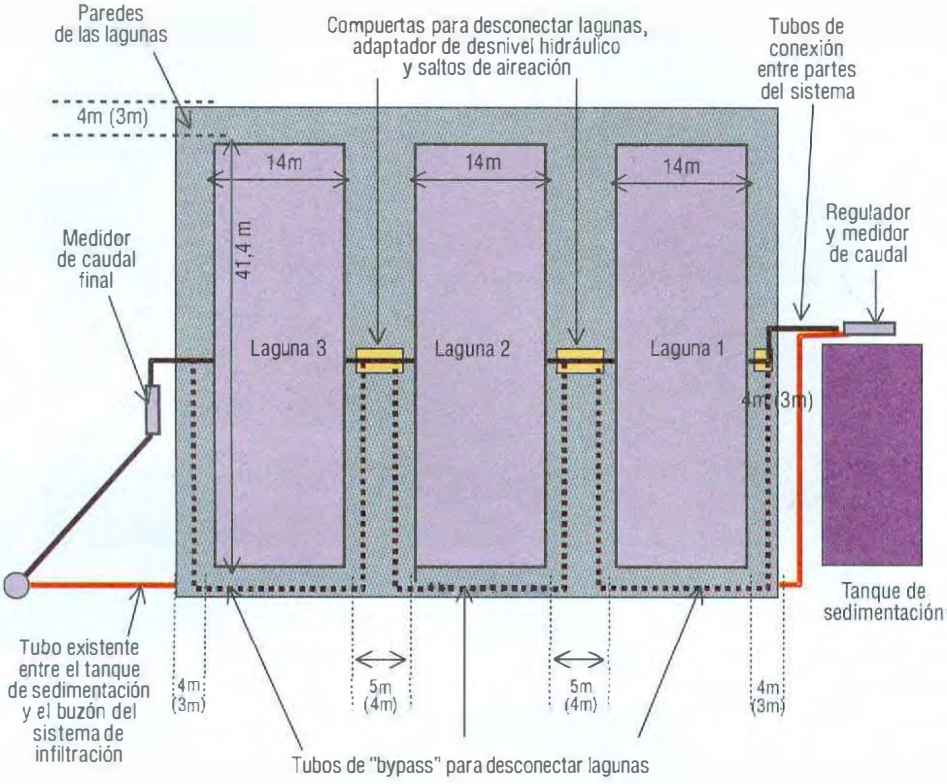
Se realizó un trabajo de tesis sobre la laguna de totora, que describe los procesos de plantación de la totora, su desarrollo y las épocas de poda. Además se realizó un estudio intensivo de los parámetros físico-químicos, microbiológicos, de metales pesados y parasitológicos entre los meses julio a octubre del año 1999, experimentando con diferentes cargas hidráulicas. Se observó que, durante la aplicación de altas cargas orgánicas, la laguna se volvió anaeróbica y las plantas de totora empezaron a morir. (Guerra, 2000).

Estudio de caso: humedales artificiales para el tratamiento de las aguas municipales de dos pueblos en orillas del lago Titicaca

En el año 2000, la Autoridad Lago Titicaca (ALT) comenzó el Proyecto de Conservación de la Biodiversidad del Sistema TDPS, que contempló, entre otros, un proyecto de diseño e investigación de humedales artificiales para la descontaminación de las aguas servidas de los pueblos situados en las orillas del lago Titicaca, con el fin de establecer metodologías factibles para evitar el vertido de aguas servidas al lago y su eutrofización y contaminación, además de preservar la biodiversidad de este cuerpo de agua.

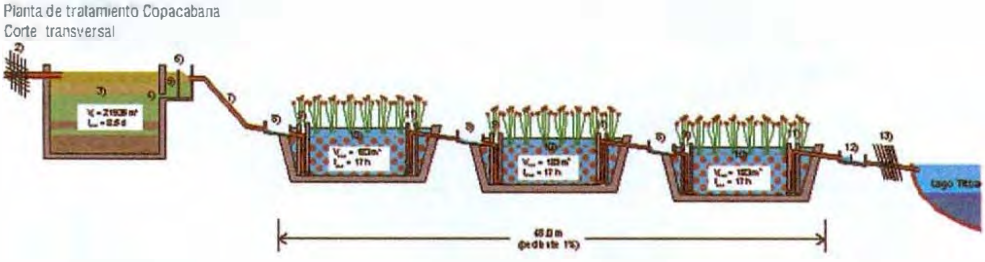
Durante el proyecto se diseñaron e implementaron dos plantas de tratamiento de aguas servidas mediante totora, para los pueblos de Copacabana y Desaguadero, los únicos que contaban ya con un sistema de alcantarillado. Se diseñaron sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal plantados con totora (*Schoenoplectus californicus ssp. totora*), por la abundancia de esta planta en el lago Titicaca, su fácil extracción y replante, además de su fácil adaptación a aguas servidas comprobada por trabajos anteriores (Franken, 1988, 1990), y su uso en la artesanía tradicional por los pobladores ribereños.

Figura 177
Vista de conjunto de la planta piloto de Copacabana



Las dimensiones son indicadas por las cotas de las soleras de las obras. Entre paréntesis se indican las dimensiones a las cotas de las coronas. Esquema: Medmin, 2003.

Figura 178
Esquema de funcionamiento de la planta de tratamiento de Copacabana



Las aguas servidas entran por bombeo en el tanque de sedimentación, del cual pasan a las tres celdas de tratamiento plantadas con totoras *(Schoenoplectus californicus ssp. totora)* para finalmente ser tratadas por peines de infiltración. 1) cárcamo de bombeo, 2) rejilla, 3) tanque de sedimentación con 4) compuerta de regulación de caudal, 5) posa de disipación de energía y 6) medidor de caudal, 7) tubería de conexión al sistema principal, 8) dispositivo de aireación, 9) caja de distribución e inspección, 10) celdas de tratamiento, 11) caja de control de niveles, 12) medidor de caudal de salida y 13) peines de infiltración. Esquema: Medmin, 2003.

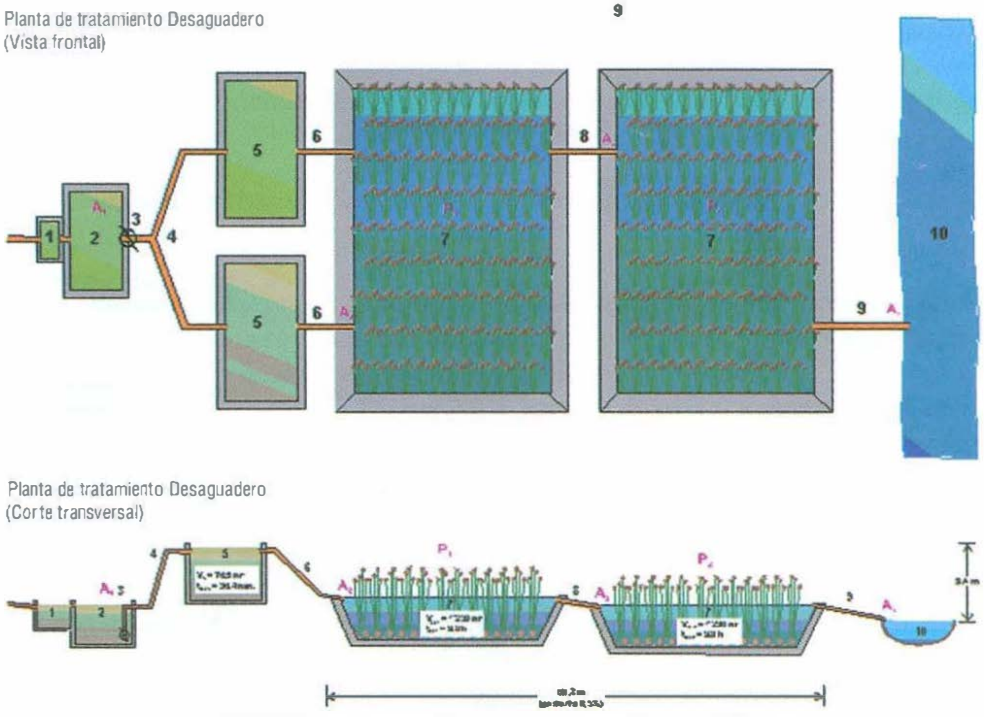
Figura 179
Planta de purificación en Copacabana

Foto: Margot Franken, junio de 2003.

Figura 180
Flujos de aguas servidas hacia el lago, en la bahía turística de Copacabana

La foto muestra que la situación después de la construcción de la planta de purificación en Copacabana no ha cambiado sustancialmente. Parece que la estación de bombeo no está en buen funcionamiento y que no toda la población se ha conectado a la red de alcantarillado. Foto. Margot Franken junio de 2003

Figura 181
Esquema de funcionamiento de la planta de tratamiento de Desaguadero



Cámara de distribución de aguas servidas (1); sistema de bombeo (2): bomba sumergible (3); sistema de distribución (4); tanques de sedimentación (5); tubería de conexión al sistema principal (6), lagunas de tratamiento (7); tubería de conexión entre las lagunas de tratamiento (8); tubería de evacuación (9); el Río Desaguadero (10). Esquemas: Medmin. 2003.

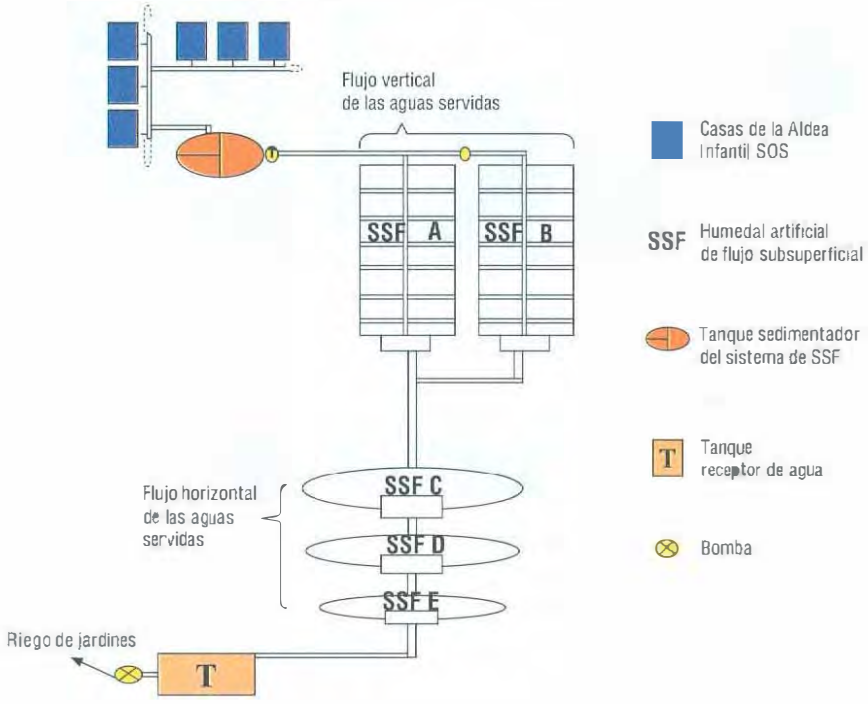
Estudio de caso: humedales artificiales para las aldeas SOS, Mallasa (La Paz)

En las aldeas SOS de Mallasa existen actualmente dos plantas de purificación mediante macrófitas: una pequeña planta para una casa ecológica, construida con los estudiantes de las aldeas durante un taller, y una planta para las aldeas, planificada para unos 150 habitantes.

La planta grande consiste en un tanque sedimentador con tres compartimentos, en los que el tiempo de retención permite la estabilización de los lodos. Luego, el agua se bombea alternamente a dos estanques de flujo subsuperficial vertical, de los cuales se vierte por gravedad a tres estanques de flujo subsuperficial horizontal, dispuestos en serie. Durante el traspaso de un tanque al otro, el agua se oxigena por turbulencias en los canales de conexión. Al final, el agua purificada es recolectada en un tanque y se usa en el riego de los jardines de la aldea. Los estanques de flujo horizontal han sido diseñados en forma de

riñón, optando por una forma orgánica para adaptarlos mejor al paisaje. En los estanques verticales no sólo se usaron plantas de totora, sino también de otras dos especies recolectadas en la zona cercana de Río Abajo, *Phragmites australis* y *Typha dominguensis*. (Biotektur, 2000).

Figura 182
Croquis del sistema



Estanques A y B = Estanques de flujo subsuperficial vertical, con uso alterno; Estanques C, D y F = Estanques de flujo subsuperficial horizontal, con uso en serie. Fuente: Cisneros, 2002.

El desarrollo de las plantas y la calidad del efluente de la planta se investigaron mediante un trabajo de tesis (Cisneros, 2002). El estudio estableció que, durante la adaptación de las plantas, se debe liberar los estanques regularmente de otras especies introducidas al azar y en forma natural, y que las plantas se deben podar cuando alcanzan una altura promedio de 150 cm para evitar la aparición de puntos necróticos en los tallos. Aunque las plantas todavía no cubrieron toda la superficie de los estanques, los valores medidos en el efluente final (nutrientes, materia orgánica) se encontraron debajo de los límites permisibles establecidos para este tipo de plantas de tratamiento en Europa. La capacidad de remoción de la carga orgánica, nitrógeno y fósforo se halla entre 70 - 80% (Cisneros, 2002).

La totora actualmente ha desplazado a las otras plantas helófitas introducidas en los estanques verticales, por su gran fuerza de competencia.

Figura 183
Elementos del sistema de purificación de las Aldeas Infantiles SOS

a: sedimentador con tres cámaras en serie. Foto: Susana Cisneros
b: estanques de flujo vertical, con sus tubos de distribución de agua. Foto: Susana Cisneros
c: estanques de flujo vertical. Foto: Margot Franken, marzo de 2005
d: canal de salida de los estanques verticales. Foto: Margot Franken, marzo de 2005
e: estanques de flujo horizontal en forma de riñón. Foto: Susana Cisneros. Se observan los canales de *bypass* para las aguas pluviales, al lado de los estanques, y el canal de salida de los estanques de flujo vertical.

3.4.5. Distribución de sanitarios ecológicos

Antecedentes

En Bolivia, los índices de mortalidad infantil son muy altos y las enfermedades diarreicas son la primera causa (Patiño, 2003).

Tabla 59
Índices de mortalidad infantil

Región	Índice de mortalidad	Fuente
Países industrializados	6/1.000 nacidos vivos	UNICEF, 2001
América Latina y el Caribe	39/1.000 nacidos vivos	UNICEF, 2001
Bolivia	60/1.000 nacidos vivos en la zona urbana	ENDA, 1994
Bolivia	92/1.000 nacidos vivos en la zona rural	ENDA. 1994

Fuente: Patiño, 2003.

A este problema se lo enfrenta con varios programas de dotación de agua potable, de educación en higiene y la implementación de sistemas sanitarios.

Desde los años 50, en Bolivia se construyen letrinas en el área rural, en su mayoría de pozo ciego. A partir de 1986 también se instalaron letrinas de sello hidráulico, que utilizan aproximadamente 5 litros de agua por uso y que se aplican a mano. Las aguas negras resultantes se infiltran al subsuelo por un pozo de absorción. En general, los pobladores no tienen suficiente agua para barrer las heces de los inodoros o simplemente significa demasiado trabajo el suministro regular de las cantidades de agua necesarias. La cobertura con letrinas en el área rural, con menos de 40%, es todavía baja (Torrico, com. pers., 2003). Los dos tipos de letrinas constituyen un fuerte riesgo de contaminación de los suelos, de los mantos freáticos y de las aguas superficiales, especialmente porque se instalaron frecuentemente al borde de un curso de agua. Los proyectos se restringían generalmente a la implementación de las letrinas, con escasa participación comunitaria y deficiente capacitación en su uso. Por otro lado, las letrinas desprenden malos olores y atraen moscas. El resultado era el abandono de éstas en un 50% porque los pobladores prefieren el modo tradicional de defecación al aire libre. (Torrico, 2001).

Desde 1998, en Bolivia se instalan *sanitarios ecológicos de deshidratación*, llamados Letrinas Aboneras Secas Familiares (LASF). Se implementaron primero por los menonitas en los alrededores de la ciudad de Santa Cruz. Como la masa fecal debe secarse, necesitan la aplicación de un material secante en las cámaras de deposición de fecales. Si no se aplica material secante, en forma de ceniza, cal, aserrín o tierra, se observan explosiones de *Ascaris lumbricoides*, un parásito intestinal. (Torrico, com. pers., 2003).

Los sanitarios ecológicos de deshidratación actualmente tienen la mayor aceptación. Especialmente los niños los utilizan, así que se espera un efecto multiplicador por sanitarios instalados en los colegios (Lugo *et al.*, 2000). En el norte del departamento de Potosí se acepta este tipo de sanitarios, como primera opción, por la producción de abono. Se adquirió bastante experiencia en el uso de la orina separada (mezcla 1:10 con agua) como fertilizante, pero todavía hay pocas experiencias con las heces secas. (Torrico, com. pers., 2003).

En Bolivia se requieren entre 155 y 255 $us para su construcción, dependiendo de los tipos de materiales usados (Torrico, 2004).

Se estima que actualmente se cuenta con más de 10.000 sanitarios ecológicos de desecación en el país, número que cada día va en aumento (Torrico, com. pers., 2007).

Figura 184
Sanitarios ecológicos implementados en colegios

a: baños ecológicos, entradas; b: baños ecológicos, vista posterior, con tapas de los depósitos; c: urinario de mujeres; d: bacinica de loza. El hueco para la defecación se cubre con una tapa. Fotos: UNICEF.

En el año 2000 se inició el Proyecto Piloto en Saavedra/Santa Cruz, monitoreado por el Viceministerio de Servicios Básicos, PROSABAR, FIS, BIBOSI, el Comité Central Menonita (CCM), la Cooperación Sueca (ASDI) y otros, con la implementación de 400 sanitarios de deshidratación (Letrinas Aboneras Secas Familiares, LASF) (ver estudio de caso: General Saavedra). Posteriormente, en el año 2002, se masificó la implementación, con el Programa Agua y Saneamiento de la UNICEF, el Comité Central Menonita, BIBOSI y la Cruz Roja, en los departamentos de Santa Cruz, Cochabamba, Potosí, Chuquisaca y Beni usando no sólo inodoros y urinarios de concreto, sino también de fibra de vidrio. Hasta la fecha se instalaron más de 5.000 unidades en todo el país. En el departamento del Beni también se trabajó en el área periurbana. Se planifica la instalación de este tipo de sanitarios en circuitos turísticos, comenzando con la Isla del Sol en el lago Titicaca. (Torrico, com. pers., 2007).

Entre 1999 y 2004, UNICEF construyó 3.900 sanitarios ecológicos familiares y 200 sanitarios escolares (Olsson, com. pers., 2004).

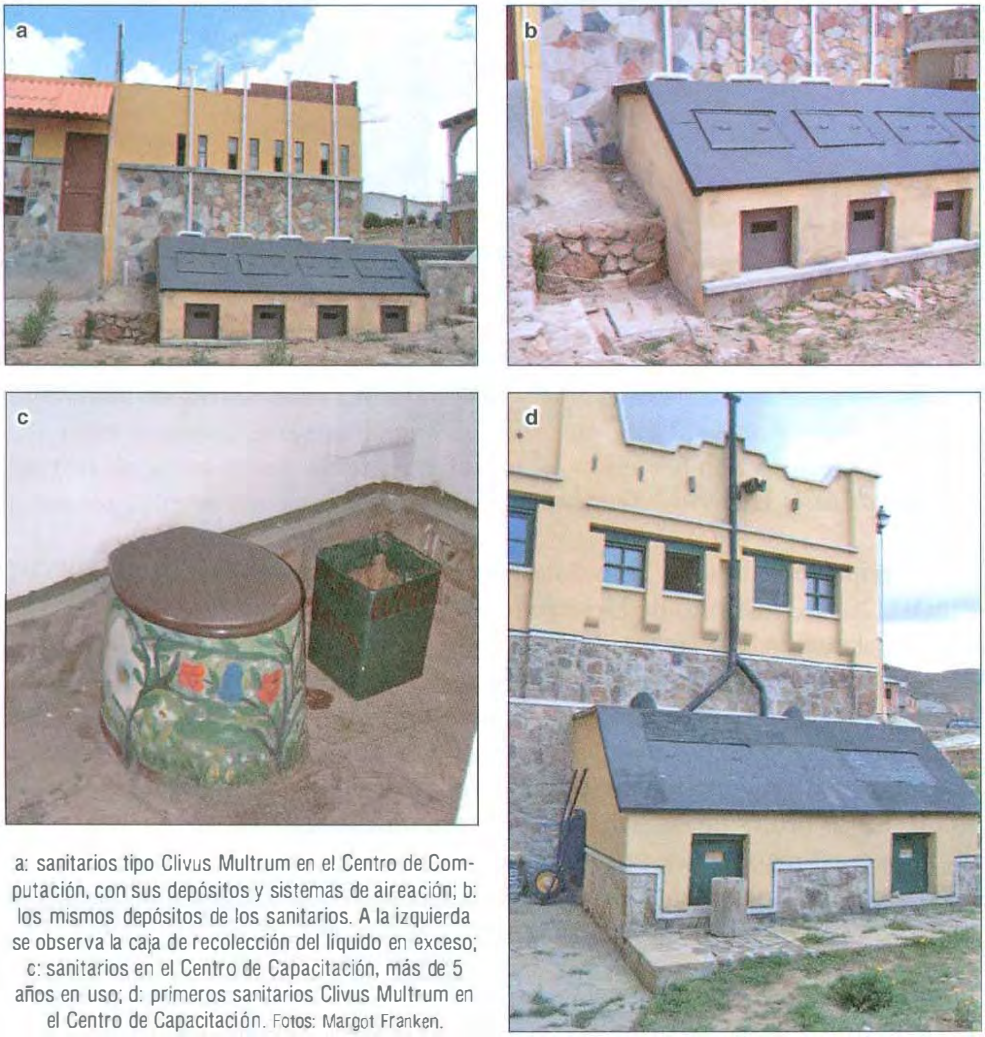
También, principalmente en la zona altiplánica, se instalaron, desde 1994, algunos *sanitarios ecológicos de compostaje del tipo Clivus Multrum en autoconstrucción* (sistema húmedo), con adaptaciones a los materiales nacionales y con drenaje del líquido excedente hacia un balde ubicado en una cámara (Franken & Eguivar, 2000). El líquido diluido se usa como fertilizante en el riego de plantas no comestibles.

Las mejores experiencias se obtuvieron en el pueblo de Calamarca, donde la Fundación Ecopueblo promociona los sanitarios ecológicos mediante su centro de capacitación. Se instalaron sistemas Clivus Multrum en el centro de capacitación, en la posta sanitaria, en el kindergarten y en el nuevo centro de computación. Con los productos líquidos y sólidos se fertilizan los árboles del jardín.

Figura 185
Sanitario ecológico Clivus Multrum en autoconstrucción, Achocalla (La Paz)

Se observa el depósito pintado en negro para calentar la masa en descomposición, la puerta para recoger el material maduro, con una malla para la ventilación del sistema. En el techo, el tubo de aireación pintado de negro para ayudar al flujo de aire. Delante del depósito la tapa de la cámara, donde se coloca el balde para la recepción del líquido de exceso. Este balde se saca una vez a la semana y se riega los árboles frutales con el líquido diluido con agua en proporción 1:10. Al lado izquierdo se observa una ducha solar.
Foto: Margot Franken.

Figura 186
Sanitarios ecológicos tipo Clivus Multrum en Calamarca, zona altiplánica



a: sanitarios tipo Clivus Multrum en el Centro de Computación, con sus depósitos y sistemas de aireación; b: los mismos depósitos de los sanitarios. A la izquierda se observa la caja de recolección del líquido en exceso; c: sanitarios en el Centro de Capacitación, más de 5 años en uso; d: primeros sanitarios Clivus Multrum en el Centro de Capacitación. Fotos: Margot Franken.

Actualmente se construyó otro tipo de sanitario ecológico en la zona de Río Abajo (La Paz) en una casa privada. Se trata de un sistema de desecación con inodoros separadores y un recipiente movible grande debajo del baño (figura 187a). Como material secante se utiliza aserrín fino. La masa seca en el contenedor se lleva a una compostera externa, aproximadamente una vez al mes, y con la orina recolectada se abonan las plantaciones de árboles. Adicionalmente, en esta casa las aguas grises se usan para el riego del jardín, las aguas de lavamanos y ducha se llevan directamente, por canales abiertos mediante la gravedad, las aguas de cocina pasan primeramente por um separador de grasas y aceites (figura 187b).

Figura 187
Saneamiento ecológico en casa particular de la zona Río Abajo, La Paz

a: depósito movible de masa fecal con aserrín; b: separador de aceites y grasas para el desagüe de la cocina.
Fotos: Margot Franken.

Estudio de caso: General Saavedra

La descripción se basa en las publicaciones del Instituto de Desarrollo BIBOSI: BIBOSI, 2003 e Instituto de Desarrollo BIBOSI, 2003.

En el pueblo de Saavedra (ubicado a 15 km de Montero y a 65 km de Santa Cruz), en 1997, la organización no gubernamental BIBOSI comenzó a construir letrinas de pozo seco con ventilación. Durante estudios más intensivos se observó el alto nivel de las napas freáticas, la frecuente inundación de algunas comunidades y el consiguiente rebalse de los pozos ciegos llevando materia contagiosa, lo que causó brotes de enfermedades gastrointestinales.

Por estas razones, los mismos comunarios optaron por la Letrina Abonera Seca Familiar. En conjunto con la Alcaldía de Saavedra, el Programa de Saneamiento Básico Rural (PROSABAR) y la participación del Área de Salud, del Distrito de Educación, del Comité de Vigilancia, las Organizaciones Territoriales de Base (OTB), grupos de mujeres y otros, BIBOSI logró la instalación de los sanitarios ecológicos de deshidratación.

La mayoría de las familias, para ahorrar costos, construyó su caseta de baño de chuchio (cañahueca) y motacú (hojas de palmera). Los maestros albañiles fueron capacitados por el Comité Central Menonita, organización experta en la construcción de los sanitarios de deshidratación. La organización menonita también tiene un taller de construcción de los inodoros separadores, necesarios para este sistema, y que son fabricados en concreto.

La asamblea comunal nombró visitadores (personas de la propia comunidad) para ocuparse del seguimiento de las familias en el proceso de capacitación. Cada visitador tiene bajo su cargo 10 familias, las que visita regularmente en su domicilio. También se capacitan a los profesores y estudiantes de las unidades educativas.

En la capacitación y ejecución del proyecto era muy importante y beneficioso incluir otros aspectos de saneamiento como: manejo de basura, cuidado con el agua, higiene de la vivienda y enfermedades transmitidas por el agua.

Por el clima tropical húmedo, para la operación se recomienda usar como material secante ceniza o cal, solo o mezclado con tierra seca o aserrín, y remover el contenido de la cámara dos veces por semana con un palo de metro y medio de largo.

El proyecto tuvo éxito porque el pedido de los sanitarios ecológicos de este tipo se formuló por la propia comunidad y, por otro lado, por la amplia e intensiva participación de todos los sectores sociales y la participación del Gobierno Municipal, además de incorporar albañiles y visitadores del mismo lugar.

La implementación de los sanitarios de deshidratación comenzó a finales de los años 90 y esta es la edad máxima de los sistemas en uso en el país. Actualmente, se evalúan los primeros datos sobre la calidad del compost producido.

Otra novedad en el municipio General Saavedra fue la implementación de huertas de aguas grises, donde se infiltran las aguas y al mismo tiempo se abastecen los cultivos con agua y nutrientes.

Producción de inodoros separadores

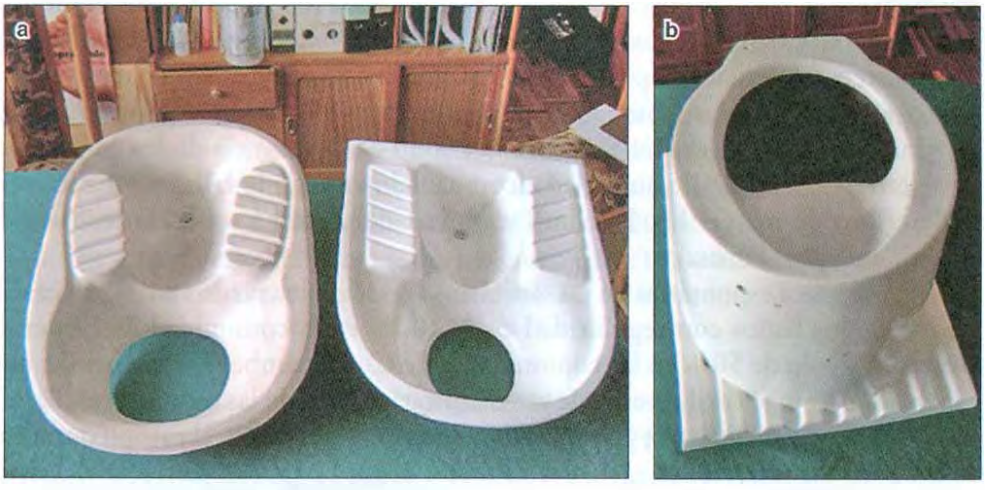
En Bolivia, hasta el momento, existen tres talleres de producción de los inodoros separadores. El más antiguo funciona en la ciudad de Santa Cruz, que es el Centro de Capacitación y Tecnología Apropiada de los Menonitas. Ellos comenzaron en 1998 con la producción de sanitarios de deshidratación y los inodoros separadores correspondientes. Desde hace tres a cuatro años comenzaron la producción comercial. Las tazas se realizan sólo en cemento.

El segundo taller, implementado por la Fundación Sumaj Huasi, se estableció en la ciudad de El Alto y produce actualmente bacinicas de loza (baños turcos) e inodoros de fibra de vidrio. El diseño de los dos modelos es el resultado de una investigación exhaustiva, en la que participaron mujeres de toda edad para definir las dimensiones de los baños, la distancia de la parte urinaria y la parte fecal, la ubicación más cómoda para los pies y la formación del urinario para que no salpique la orina a los alrededores (SUNTURA, com. pers., 2004). La figura 188 muestra el baño turco aplicado en el principio (figura 188a, derecha) y el modelo actual, resultado de las investigaciones (figura 188a, izquierda).

Figura 188
Taller del Centro de Capacitación y Tecnología Apropiada de los Menonitas

a: moldes; b: inodoros; c: accesorios para la implementación; d: inodoros. Se observa los tubos de orina
Fotos: Margot Franken.

Figura 189
Inodoros separadores producidos por Sumaj Huasi



a: baños turcos (modelo nuevo al lado izquierdo); b: inodoro de taza
Fotos: Margot Franken.

En Cochabamba existe una fábrica de inodoros y urinarios producidos en cerámica. Los inodoros vienen con un depósito de ceniza, semejante en el diseño a los depósitos de agua de los inodoros convencionales, del cual entra la ceniza al baño por el simple movimiento de un grifo (figura 190).

Figura 190
Inodoro separador de cerámica

Foto: Margot Franken.

Evaluación de los inodoros separadores con deshidratación (LASF)

En 2003 se realizó la primera *evaluación del funcionamiento general* de los inodoros ecológicos en Cochabamba y Santa Cruz (Sawyer & Velásquez, 2003). Se observó que existen diferencias importantes en el diseño del proyecto. Por otra parte, las regiones estudiadas tienen marcadas diferencias climáticas. La humedad en la zona tropical de General Saavedra ocasionó en la mayoría de los sanitarios problemas de cúmulo de humedad, acompañado a veces de fallas constructivas o deterioro de materiales. El clima seco de Cochabamba evita generalmente este tipo de problemas.

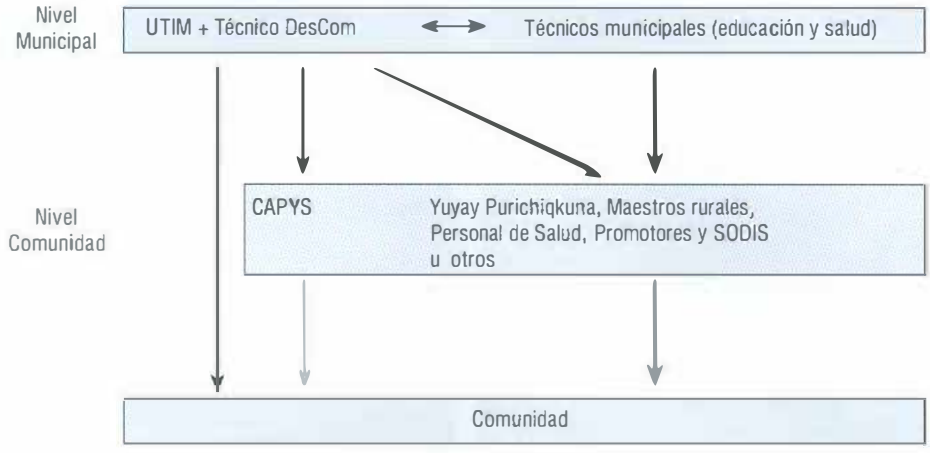
Una réplica espontánea de los sanitarios no se ha observado en ningún caso. El uso de los baños con regularidad es de 100% en la comunidad de General Saavedra y sólo de 50% en las comunidades de Cochabamba. Esto depende, no tanto de la aceptación diferente de estos sanitarios, sino de las costumbres. En el área rural de Cochabamba, generalmente toda la familia se va al campo durante el día para sus actividades agrícolas. (Patiño, 2003; Sawyer & Velásquez, 2003; Velásquez, 2003).

La UNICEF, a partir de 2003, mejoró sustancialmente el componente social a través de la participación de expertos y técnicos sociales, lo que tuvo efecto en la aceptación del sistema y su uso correcto (Torrico, com. pers., 2004).

La *estrategia de UNICEF* contempla una estrecha coordinación con los gobiernos municipales. El Gobierno Municipal, con apoyo de PROANDES, contrata a un profesional de nivel técnico medio, como técnico de Desarrollo Comunitario (Técnico DESCOM), quien trabaja al interior de la Unidad Técnica Interna Municipal (UTIM). El Gobierno Municipal, como parte de su responsabilidad dentro del acuerdo firmado con UNICEF, brinda apoyo logístico al técnico de Desarrollo Comunitario, consistente en transporte para recorrer las comunidades del municipio, material de escritorio, material de capacitación y los gastos de alimentación y alojamiento de los participantes en los eventos de capacitación. En forma simultánea con el inicio de la construcción de los sanitarios ecológicos, el técnico promueve en la comunidad la conformación de un Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPYS) para que apoye las acciones de planificación y ejecución de la obra y el cumplimiento del aporte de la comunidad. (PROANDES-UNICEF, 2004).

Durante la ejecución del proyecto, el técnico de Desarrollo Comunitario es responsable de coordinar con el CAPYS y el técnico de la ONG a cargo de las obras para elaborar un plan de educación sanitaria y ambiental, y un plan de capacitación de administración, operación y mantenimiento dirigidos a hombres, mujeres y niñas(os) de la comunidad. También procede a la identificación y selección de instituciones con presencia en el municipio y la comunidad para trabajar bajo una Alianza Estratégica firmada y extender la capacitación en forma sinérgica a los pobladores. (PROANDES-UNICEF, 2004).

Figura 191
Organigrama - roles de los técnicos municipales en el desarrollo comunitario



Fuente: PROANDES-UNICEF, 2004.

La *investigación social y técnica* de los sanitarios de deshidratación implementados en los departamentos de Santa Cruz (Saavedra - BIBOSI) y Cochabamba (varias comunidades - UNICEF) se llevó a cabo por el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) de Cochabamba, en forma de varios trabajos de tesis. En adelante se describen los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos (basado en Patiño, 2003 y Rojas, 2003):

El material secante usado determina el pH de la materia en proceso de deshidratación. La ceniza y la cal elevan el pH, lo que disminuye los olores y la presencia de moscas. Además, la ceniza es el mejor material secante para evitar problemas con parásitos, ya que acelera la disminución de coliformes fecales y otros patógenos. En general, los parásitos, incluidos los helmintos y sus huevos, desaparecieron entre los 5 a 10 meses de reposo del material. El contenido de nutrientes (NPK) es relativamente bueno, el material es un buen aporte de fósforo y nitrógeno al suelo. En General Saavedra se encontraron los siguientes patógenos durante los primeros cinco meses de reposo: huevos de *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, larvas de *Strongyloides stercoralis* y quistes de *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, e *Iodoamoeba buttchieli*. En Cochabamba se encontraron huevos de *Uncinaria*, larvas de *Strongyloides stercolaris*, y quistes de *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*, y *Endolimax nana*. La formación de quistes de protozoarios a veces aumentó después de los cinco meses de reposo, pero después de 10 a 12 meses ya no se observaron huevos de helmintos ni quistes de protozoarios.

Tabla 60
Características de construcción de los sanitarios evaluados

Departamento	Dimensiones de las cámaras	Volumen total de las cámaras	Dimensiones de las tapas traseras de los depósitos	Tubo de ventilación	Losa superior	Receptor de orín
Cochabamba	0,8 x 0,9 x 0,9	0,648 m³	0,45 x 0,5	4"	Acuclillado	Pozo de infiltración
Santa Cruz	0,8 x 0,6 x 0,62	0,297 m³	0,37 x 0,62	No tiene	Taza	Recipiente

Fuente: Patiño, 2003.

Las cámaras construidas en Santa Cruz (General Saavedra) son más pequeñas y no tienen ventilación, lo que dificulta, adicionalmente al clima húmedo, la deshidratación de la masa fecal.

Uso de orina y compost generado

Los líquidos de exceso de los sanitarios Clivus Multrum en Achocalla y Calamarca se usan en el riego de árboles ornamentales y frutales. El compost generado por estos baños generalmente se lleva a un compostaje secundario, mezclándolo con desechos orgánicos del jardín en los exteriores de la casa. Parcialmente se lo usa también para la producción de humus de lombriz.

En los sanitarios de deshidratación se tiene diferentes experiencias en el departamento de Santa Cruz y el departamento de Cochabamba.

En Santa Cruz, la regla es que la orina y la masa fecal deshidratada se emplean en el propio jardín de los usuarios. En una de las comunidades atendida por BIBOSI, un agricultor de cítricos se dedica a vaciar las cámaras de los vecinos comprándoles su abono sólido por Bs 10 la bolsa. El reporta que aplica el abono a sus árboles frutales con muy buenos resultados, en una zanja alrededor del tronco y a una distancia de 50 cm. (Sawyer & Velásquez, 2003; Torrico, com. pers., 2004).

Había mucha menos conciencia de los posibles beneficios y propiedades de la orina como fertilizante en los proyectos de UNICEF. La masa deshidratada en la mayoría de los casos todavía no se ha vaciado, por el poco tiempo que llevan estos proyectos. En los casos cuando el abono ya estaba maduro, se aplicó en las huertas y parcialmente en los cultivos de papa.

Lo último muestra una vez más que la conciencia y los conocimientos de los usuarios son cruciales para la aceptación de este tipo de sistemas sanitarios ecológicos, su operación y mantenimiento adecuado, y el uso de los productos.

En Achocalla y en Calamarca, los sanitarios se implementaron por extranjeros y una Fundación de medio ambiente, respectivamente, para velar por la integridad ecológica del ambiente y dar ejemplo positivo a los vecinos.

En la comunidad General Saavedra, su implementación salió de la necesidad sentida por los mismos pobladores, porque en su situación, ni las letrinas ni los

pozos sépticos funcionaron de manera adecuada (ver estudio de caso: General Saavedra). Por este motivo, los sanitarios tienen alta aceptación en la población, aunque la deshidratación no funciona de manera satisfactoria.

Por otro lado, en los valles y el altiplano, donde por el clima seco el sistema es más fácil de operar, la deficiencia en la concienciación de los usuarios sobre el valor de los productos finales, y en especial la orina, es la causa principal de su escaso uso.

Recomendaciones (basado en Sawyer & Velásquez, 2003 y Torrico, com. pers., 2004)

- Desarrollar talleres de género con el personal institucional porque actualmente el trabajo se concentra en las mujeres y los hombres no tienen mucho conocimiento de operación y mantenimiento del sistema.
- Fortalecer las comunidades para que, a través de sus OTB, contribuyan en la gestión y financiamiento para los sistemas de saneamiento, además incluir mejor las autoridades municipales en el proceso de distribución del saneamiento ecológico.
- Involucrar a diversos sectores en todas las fases de programación del saneamiento ecológico, los sectores de salud y educación, y en especial estimulando una alianza con el sector agrícola para garantizar el uso de los productos finales, orina, abono seco y compost.
- Ampliar la gama de opciones de sanitarios ecológicos, tomando en cuenta las diferencias climáticas en las distintas regiones y ofrecer opciones más económicas.
- No despreciar el uso de estos sistemas nombrándolos letrinas o baños campesinos. Se tiene que subrayar que se trata de una tecnología para el futuro, no sólo en países en desarrollo, sino también en países industrializados.
- Desarrollar estrategias para la difusión del saneamiento ecológico en el ámbito urbano.
- Impulsar en el largo plazo que el saneamiento ecológico sea una política del Estado.
- Mejorar el secado en los sanitarios de deshidratación con la incorporación de planchas metálicas para el calentamiento solar, especialmente en los sanitarios escolares.
- Tener cuidado en la recomendación de ciertos insumos como material secante, por ejemplo, la recomendación de la ceniza aporta al uso excesivo de leña como material de combustión, lo que no es sostenible en zonas áridas.

Nuevas estrategias (según Torrico, com. pers., 2007)

Varios estudios sobre la aceptación de los sanitarios de deshidratación en Bolivia han revelado una aceptación relativamente baja, que es causa de una preparación

y participación insuficiente de la población, un seguimiento deficiente después de la implementación de los sistemas y, a veces, también de una implementación deficitaria.

Sumaj Huasi, en cooperación con la Universidad de Emory, de Estados Unidos, ha ganado recientemente el premio del Programa Development Market Place, del Banco Mundial, con el tema "Generación de demanda de saneamiento en sectores carentes de servicio", para sobrellevar las deficiencias anteriormente detectadas.

En el marco de este proyecto, actualmente experimenta con un novedoso baño ecológico solar en la ciudad de El Alto. Se trata de un baño instalado en una casa particular, con piso inclinado en un 15% a 20%, lo que facilita el avance de la masa fecal hacia la parte soleada sin manipulación y con una tapa de plancha metálica negra orientada hacia el norte para calentar la masa durante el día. Como material secante aditivo se usa tierra cernida o arena fina, para evitar la depredación de la vegetación por el uso de ceniza. Se recomienda el uso de guantes y barbijo durante el manipuleo final de la masa y enterrar los biosólidos para evitar cualquier riesgo por patógenos todavía viables al final del proceso de desecación y maduración. La orina, como no presenta riesgo, se puede utilizar en las huertas y jardines.

Para aumentar la aceptación de los baños ecológicos, se quiere adoptar la estrategia SANTOLIC (Saneamiento Total Liderado por la Comunidad) desarrollada en la India, lo que consiste en varias fases de discusión con la comunidad, antes de la implementación, y una fuerte participación de todas las familias de la comunidad que finalmente deciden si quieren dejar el hábito de defecación al aire libre y cuál sistema quieren implementar.

Además se discute la posibilidad de desarrollar elementos prefabricados, incluidos los depósitos para los biosólidos, para situaciones de emergencia y para personas con mejor economía.

3.5. Manejo y uso de aguas pluviales

Si se tiene un sistema de alcantarillado, las aguas pluviales generalmente entran al sistema y no existen otras formas para su manejo.

Desellado de superficies

En las ciudades se puede observar superficies permeables en casas privadas, áreas de parqueo, algunas aceras y calles adoquinadas. Generalmente resultan de iniciativas privadas.

Figura 192
Superficies permeables en la ciudad de La Paz

a: calle adoquinada en Achumani; b: troncos de árboles con pasto, acera en San Miguel; c: loseta con pasto, acera en Achumani; d: loseta con pasto, acera en Achumani
Fotos: Margot Franken

e: rejillas de cemento con pasto, acera en Achumani; f: losetas con juntas de arena, acera en Achumani; g: rejillas con pasto para parqueo, Achumani; h: empedrado con juntas de cascajo, que se llenan de pasto de forma espontánea, calle en Achumani
Fotos: Margot Franken.

Cosecha de aguas pluviales

Existen pocas casas con tanques para la cosecha de aguas pluviales de los techos. Actualmente se las construye con ferrocemento para abaratar costos y hacerlas más livianas (ver estudio de caso: Granja agroecológica en Cochabamba).

En el campo se construyen los llamados atajados o *qochas*, principalmente para crear un almacén de agua de riego para la época seca (Tammes *et al.*, 2000).

3.6. Estudio de caso: granja agroecológica en Cochabamba

La descripción se basa en una visita a la granja y explicaciones por personal entendido en el temario.

La Granja del Centro de Formación Técnica (CENFOTEC) de las Aldeas Infantiles SOS, de Cochabamba, ha transformado hace dos años su producción y enseñanza a una granja agroecológica.

Al mismo tiempo, se implementaron otros elementos ecológicos alrededor de una vivienda campestre autosuficiente. Se construyeron casas tradicionales de

adobe sin cimientos de cemento, con techos de carrizo, cartón asfáltico y paja, y *lakautas*, casas de adobe en forma de bóveda. También se incluyó el procesamiento de los desechos orgánicos en forma de compostaje y en el campo del abastecimiento de energías se introdujeron hornos solares y cocinas Lorena, un tipo de cocina a leña con muy bajo consumo, un secador solar para el secado de frutas y hierbas, duchas solares y paneles fotovoltaicos.

En el manejo de aguas existe una variedad de elementos implementados:

1. Fuentes de agua
   - Un pozo perforado manualmente y operado con bomba también manual.
   - Un tanque de ferrocemento para la captación de las aguas pluviales de los techos de las oficinas que abastece la lavandería.
   - Agua potable municipal.
2. Potabilización del agua a nivel de la granja
   - Un filtro experimental de agua con capas de arena para la potabilización.
3. Purificación de aguas servidas
   - Dos humedales artificiales, llamados *puriqochas*, uno para la purificación de las aguas negras provenientes de las oficinas y casas, y otro para las aguas grises provenientes de la unidad de enseñanza.

Las aguas negras de las oficinas y casas en un principio eran enviadas a un tanque séptico, combinado con una cámara de absorción. La cámara de absorción se tapó con los lodos de rebalse y perdió su función, así que las aguas y lodos rebalsaron a la calle formando un foco de malos olores e infección. Por este motivo se decidió implementar un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (ver capítulo VI, subtítulo 2.2.2.) que recibe las aguas de rebalse de la cámara de absorción, con el asesoramiento técnico de un experto inglés.

Esta *puriqocha* tiene actualmente un año y medio, y la vegetación está plenamente desarrollada. Las aguas purificadas son recibidas en un turril y se usan para el riego de los jardines. Un brazo movible dentro del turril regula el nivel de agua en la *puriqocha*. El agua saliente es transparente y no tiene olor. El humedal purifica las aguas negras de aproximadamente 50 personas y se ha previsto una superficie de 1 m^2 por persona.

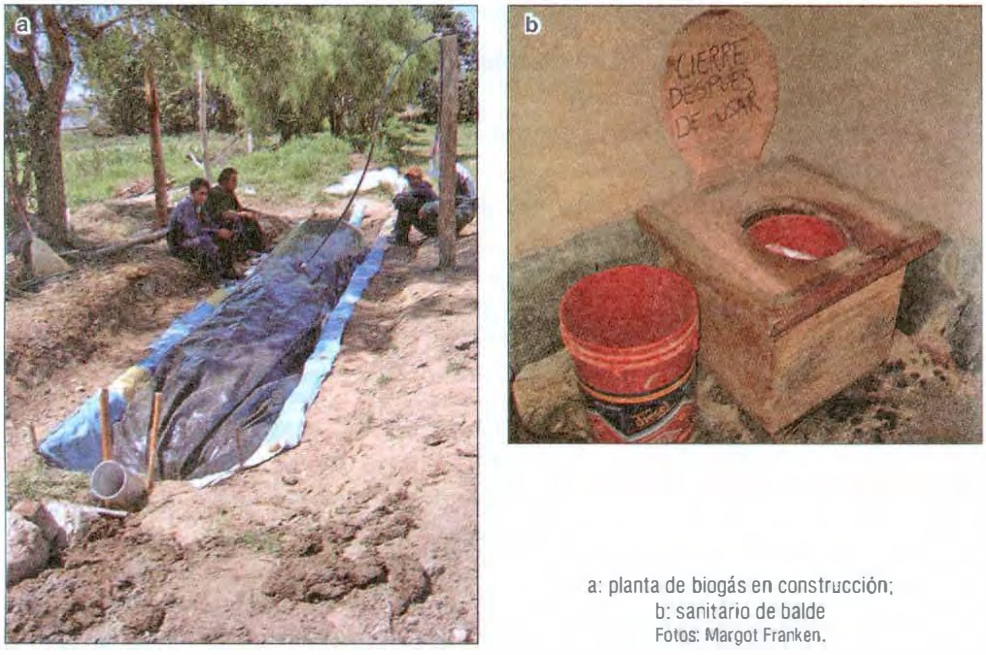
Figura 193
Elementos del manejo descentralizado de aguas

a: tanque de agua pluvial; b: lavandería con uso de agua pluvial; c: filtro de arena; d: *puriqocha* de aguas negras; e: entrada de aguas a la *puriqocha*. Se observa el tubo de entrada de aguas y su apertura de inspección; f: salida de aguas de la *puri'qocha*. Se observa el brazo movible de regulación y el tubo de salida de las aguas purificadas del turril.
Fotos: Margot Franken.

La unidad de enseñanza está provista de un baño consistente en un balde introducido en una caja de madera movible. Como material secante y absorbente de olores se usa aserrín. El balde se vacía a una compostera. Se tiene planificado implementar un sanitario tipo Clivus Multrum en autoconstrucción.

Por otro lado, se construye actualmente una planta de biogás que recibirá los excrementos animales y humanos. La producción de biogás genera tres productos: el biogás, que se utilizará en la cocina de la unidad de formación; el biosol, que son los residuos sólidos que se utilizarán como abono; y el biol, el líquido residual, que se utilizará como abono foliar.

Figura 194
Elementos del manejo de excrementos



a: planta de biogás en construcción;
b: sanitario de balde
Fotos: Margot Franken.

Como la transformación se inició hace sólo dos años, varios de los elementos aplicados se encuentran aún bajo investigación y están distribuidos por todo el terreno. Todavía no existe un conjunto que muestre la integración de todos los elementos en una vivienda ecológica modelo.

4. Futuras posibilidades de implementación de sistemas descentralizados

Como los sistemas de distribución de agua potable y saneamiento todavía tienen grandes deficiencias en Bolivia, las posibilidades de introducir sistemas descentralizados, sin necesidad de transformar sistemas centrales existentes, son muy altas, principalmente en las zonas rurales y periurbanas.

Se implementaron varios sistemas alternativos descentralizados o semicentralizados en Bolivia, aproximadamente a partir de los años 90 del siglo pasado. Estos son:

- Sanitarios ecológicos de dos tipos: Clivus-Multrum en autoconstrucción (altiplano y Yungas) y sanitarios de deshidratación en base al modelo vietnamés (en todo el país).
- Desinfección del agua para consumo humano mediante energía solar (método SODIS), en todo el país.
- Desinfección del agua para consumo humano mediante filtros de cerámica, en varios departamentos.
- Humedales artificiales para la purificación de aguas servidas domésticas, en varios departamentos.
- Uso de aguas pluviales en las regiones secas del país.
- Producción de biogás, principalmente en los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz.

Los sistemas descentralizados tienen cada vez más aceptación en las zonas rurales de Bolivia. Ya existen varias organizaciones internacionales, fundaciones y otras ONG que están difundiendo e implementando especialmente los sistemas de desinfección solar del agua y los sanitarios de deshidratación.

Lastimosamente, estos sistemas se difunden hasta el momento sólo en zonas rurales y la mentalidad de los promotores generalmente es la de suministrar sistemas de bajo costo en regiones que carecen de otras posibilidades. Se difunden principalmente como medida para mejorar la situación higiénica en la familia. No se tiene una política de promocionar los sistemas por su sostenibilidad ecológica y económica, ni por las posibilidades de cierre de ciclos de aguas y nutrientes a nivel local, menos para evitar la contaminación del medio ambiente. Por este motivo no se los promociona en las zonas urbanas ni en las zonas periurbanas, como por ejemplo en México.

Otro error que se comete en su difusión es la depreciación de estos sistemas por parte de los mismos promotores, que los califican como sistemas de segunda clase, o la denominación peyorativa de baños campesinos y letrinas ecológicas a los sanitarios de compostaje. De esta manera, también el usuario los ve solamente como soluciones para gente pobre.

Promocionando los sistemas en un contexto integral del manejo de aguas y nutrientes y como tecnología de punta, otorgándoles también valor estético, tendrían más aceptación en la población. Especialmente en las zonas periurbanas ofrecerían más flexibilidad de adaptación al crecimiento acelerado de la población, una flexibilidad de la cual carecen totalmente los sistemas centralizados. Esto evitaría muchos problemas de infraestructura y mejoraría sustancialmente la situación sanitaria en las ciudades.

Productores de esta tecnología, por ejemplo la Fundación Sumaj Huasi, son un buen ejemplo de la posibilidad de crear fuentes de trabajo en esta rama. También se pueden desarrollar microempresas de operación y mantenimiento de estos sistemas descentralizados, además del mercadeo de los productos finales.

Se tiene que poner énfasis en el valor de los productos finales como abono, desde el principio de la implementación de los proyectos. Muchas instituciones difusoras todavía propagan la idea de infiltración de la orina al subsuelo y de enterrar los biosólidos. Aunque no es comprobada la inocuidad de los biosólidos al final del proceso de maduración, en todo caso se les puede usar en la reforestación y en la floricultura.

También las urbanizaciones nuevas ofrecen posibilidades de introducir sistemas de manejo descentralizado integral que pueden ser aceptables para los pobladores, en este caso con equipamiento importado de última tecnología. A la larga, los sistemas descentralizados como las tecnologías ECOSAN y la utilización del agua pluvial se amortiguan económicamente. Para su mayor difusión, se necesitan medidas de incentivo y tarifas diferenciadas en base al consumo de agua. De esta forma también se pueden promocionar los artefactos de bajo consumo, que recién se consiguen en el mercado nacional.

Para llegar a todos los niveles sociales y económicos de la población, se deben diversificar los modelos de sanitarios ecológicos, incluyendo opciones mas económicas y opciones de tecnología de punta, haciendo énfasis en cada caso en la comodidad y en la estética de los baños.

El manejo de las aguas pluviales, así como su infiltración en suelos permeables, depende mucho de la topografía de las ciudades y es mucho más fácil en regiones planas, por ejemplo, en ciudades como Oruro y El Alto. Pero estas nuevas metodologías necesitan aún mucha más concienciación que los sistemas sanitarios ecológicos, a pesar de que podrían ayudar sustancialmente a evitar las inundaciones frecuentes de las ciudades. Una medida fácil y económica es la creación de superficies permeables en vez de cubrir todas las vías de tráfico, las aceras, los parqueos y patios con cemento y asfalto. Para lograr este objetivo, también se necesitarían regulaciones e incentivos de parte de los municipios.

El precio del agua debe reflejar el costo real de su generación y distribución, pero también debe tomarse en cuenta que cada persona debe poder tener acceso a una cantidad moderada de agua de buena calidad. Esto significa que los precios deben fijarse en base al consumo de las personas y tener un aumento

exponencial dependiendo de la cantidad de consumo, de manera que el agua para las personas con bajos ingresos se subvencione por los precios altos que pagarían los grandes consumidores tomando en cuenta que un alto consumo por persona no es ecológicamente sostenible. Esto significa también que cada vivienda debe contar con un medidor de flujo individual, lo que aparte de lograr que se cobren precios justos, es un incentivo para el control individual del consumo y medidas de ahorro de agua.

Por otro lado, se debe incluir en el precio del agua no sólo el costo de la evacuación de las aguas servidas, sino también el costo del desagüe de las aguas pluviales, incluyendo incentivos para sistemas ecológicos de saneamiento, y sistemas de retención e infiltración de aguas pluviales.

En general, se necesita difundir los conocimientos sobre los sistemas descentralizados y se debe concienciar no sólo a la población, sino principalmente a los tomadores de decisiones y los profesionales en el campo, y enfatizar que estas tecnologías son las adecuadas para el futuro, pues representan la tecnología de punta a escala internacional.

Bibliografía citada

ANESAPA
2005 *Documentación general*, Asociación Nacional de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, La Paz, Bolivia.

ARZE, C.
1983 *Schoenoplectus tatora (totora) como agente descontaminante de aguas*, informe inédito, UNESCO, La Paz, Bolivia.

———
1984 *Comportamiento de Schoenoplectus tatora (totora) frente a contaminaciones inorgánicas*, informe inédito, UNESCO, La Paz, Bolivia.

ARZE, C. & A. Álvarez
1990 "Totora como descontaminante de aguas en movimiento", en Revista Boliviana de Química Vol. 9, N° 1, pp. 3 - 8, La Paz, Bolivia.

ARZE, C.; P. Crespo; M. Díaz; M. Calliconde & S. Uzqueda
1989 *Descontaminación de aguas con base en la Schoenoplectus tatora (totora)*, Ingeniería Hidráulica en México, México.

BIBOSI
2003 "Proyecto Autoconstrucción de letrinas aboneras secas familiares (LASF) y capacitación sobre su uso y mantenimiento correcto", Instituto de Desarrollo BIBOSI, en Taller Internacional Saneamiento Ecológico, Informe Técnico, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

BIOTEKTUR
2000 *Planos para humedales artificiales SOS Mallasa*, Diseño, La Paz, Bolivia.

CANELLI, N.
2007 *Sistemas condominiales de agua y alcantarillado. Proyecto piloto El Alto - Bolivia. Evaluación de impacto*, Programa de Agua y Saneamiento (PAS-AND), Lima, Perú, Edit. Santillana.

CARVAJAL, H. E.
1987 *La totora como descontaminante de aguas*, II Feria Científica Juvenil del Convenio Andrés Bello, Tacna, Perú.

CISNEROS, S.
2002 *Tasa de crecimiento de Schoenoplectus californicus ssp. totora (Cyperaceae) en humedales artificiales para el tratamiento de aguas servidas domésticas*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

CLASEN, T.; J. Brown; O. Suntura & S. Collin
2004 "Tratamiento casero de agua con filtros de cerámica de goteo", en Caudal N° 4/2004, pp. 20 - 22, La Paz, Bolivia.

DÍAZ DEL CASTILLO, M.
1985 *Utilización de Scirpus tatora en la descontaminación de agua*, Tesis de Licenciatura en Farmacia, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

ESPINOZA, G.
1994 *Absorción de iones cobre, plomo, y zinc por medio la Schoenoplectus tatora (totora) en medio dinámico*, Tesis de Licenciatura en Química, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

ENCINAS, J.
2003 *Evaluación de la eficiencia del método SODIS en la inactivación de coliformes termotolerantes (fecales) en tres regiones de Bolivia: Valle, trópico y altiplano*, Tesis, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

FRANKEN, M.
1988 "Experimentos con la totora como agente de purificación de aguas", en Taller Sobre el Uso de Plantas Acuáticas para el Tratamiento de Aguas Residuales, Kistritz, Northcote, Rivera (Eds.), pp. 19 - 36, Puno, Perú.

———
1990 "Purificación de aguas mediante plantas acuáticas", en Revista de Ingeniería Sanitaria (ABIS), Vol. 5, N° 6, pp. 3 - 8, La Paz, Bolivia.

FRANKEN, M. & R. Eguivar
2000 *Inodoros ecológicos*, Proyecto Cuidado del Medio Ambiente, Fundación Eco Pueblo Calamarca, La Paz, Bolivia.

GEHLER, E.
1984 a *Comportamiento de Schoenoplectus tatora (totora) frente a hierro y plata*, Tesis de Licenciatura en Química, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

———
1984b "Comportamiento de *Schoenoplectus tatora* (totora) frente a hierro y plata en soluciones acuosas", en Revista Boliviana de Química, Vol. 5, N° 1, pp. 21 - 31, La Paz, Bolivia.

GUERRA, M. A.
2000 *Efecto descontaminante de la totora en las lagunas de estabilización de Puchuckollo Bajo*, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

IÑIGUEZ, T.
1977 *Informe inédito*, Instituto de Ingeniería Sanitaria, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

INSTITUTO DE DESARROLLO BIBOSI
2003 "Proyecto Autoconstrucción de letrinas aboneras secas familiares (LASF) y capacitación sobre su uso y mantenimiento correcto en el municipio de General Saavedra. Período de ejecución marzo 2000 - abril 2002, Santa Cruz, Bolivia", Conferencia de Armida Núñez en una exposición sobre sanitarios ecológicos en abril 2003, La Paz, Bolivia.

KUESCHNER-PELKMANN, F.; K. Lanz & J. L. Lozán
2007 "Experience with the privatization of water sectors in England and Bolivia with remarks about other countries", en Lozán *et al.* (Eds.), *Global change: Enough water for all? Scientific facts*, Wissenschaftliche Auswertungen/GEO Hamburg, pp. 350 - 354, Hamburgo, Alemania.

LUGO, O.; J. L. Gutiérrez; J. A. Zuleta & J. Tapia
2000 *Mejorando el acceso al agua potable en el área andina de Bolivia*, Serie: Alivio de la Pobreza I, UNICEF, La Paz, Bolivia.

MARTINEZ, A. & M. Quiton
2002 "El sistema de red condominial: sostenibilidad y saneamiento de bajo costo", en Caudal N° 2/2002, pp. 5 - 10, La Paz, Bolivia.

MEDMIN
2003 *Uso de totorales para la descontaminación en Bolivia*, informe final para el Proyecto de Conservación de la Biodiversidad del Sistema TDPS, ALT/PNUD, La Paz, Bolivia.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y SERVICIOS BÁSICOS
2001 *Plan Nacional de Saneamiento Básico 2001 - 2010*, Vol. I, documento principal, La Paz, Bolivia.

PATIÑO, C. Z.
2003 "Evaluación social y técnica del funcionamiento de letrinas ecológicas en cuatro poblaciones de Cochabamba y una de Santa Cruz - Bolivia", en Taller Internacional Saneamiento Ecológico: Informe Técnico, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos
[s/f] *Plan Bolivia 2002 - 2007*, La Paz, Bolivia.

Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos (Ed.)
2001 *Plan Nacional de Saneamiento Básico 2001 - 2010*, Vol. I, documento principal, La Paz, Bolivia.

PROANDES - UNICEF
2004 *Implementación del componente de desarrollo comunitario en la construcción de obras de agua y saneamiento*, UNICEF, Cochabamba, Bolivia.

ROJAS, A.
2003 "Evaluación cualitativa del compost humano en letrina abonera seca familiar L.A.S.F. en la localidad de Gral. Saavedra - 2001", en Taller Internacional Saneamiento Ecológico: Informe Técnico, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

SALM, H.
1980 *La absorción de cianuro de soluciones acuosas por Scirpus tatora*, Tesis de Licenciatura en Química, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

———
1983 "Plantas acuáticas superiores para la purificación de aguas contaminadas", en Revista Boliviana de Química, Vol. 4, N° 1, pp. 16 - 21, La Paz, Bolivia.

SALM, H. & C. Arze
1982 "*Schoenoplectus tatora* (totora) para la purificación de aguas contaminadas", en Ecología en Bolivia, N° 2, pp. 41 - 48, La Paz, Bolivia.

SAWYER, R. & L. Velásquez
2003 "Informe de visitas participativas de inspección a proyectos de saneamiento ecológico en Santa Cruz y Cochabamba y recomendaciones generales derivadas de la Consultoría *Taller Internacional de Saneamiento Ecológico*", en Taller Internacional Saneamiento Ecológico, Informe Técnico, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

SISAB
2005 Información interna, Superintendencia de Saneamiento Básico, La Paz, Bolivia.

SOEHNER, S.
1989 *Forschungsarbeit ueber naturnahe Abwasserreinigung*, informe inédito, Institut fuer Pflanzenoekologie, Universidad de Giessen, Alemania.

———
1991 *Resultados preliminares sobre la evaluación de macrófitas bolivianas para la purificación de aguas*, informe inédito, Frankfurt, Alemania.

SUPERINTENDENCIA AGRARIA DE BOLIVIA
2001 *Estudio de uso de la tierra*, La Paz, Bolivia, <www.aguabolivia.org>.

TAMMES, B.; E. Villegas & L. Guamán
2000 *Atajados, su diseño y construcción*, GTZ, La Paz, Bolivia.

TAUCER, E.
1991 "Planta de purificación de aguas con macrófitas", en Revista de Ingeniería Sanitaria (ABIS) N° 8, La Paz, Bolivia.

———
1993 *Biología, transplante y desarrollo de cuatro helófitos en la zona andina de La Paz. Su uso en sistemas de purificación de aguas*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

TORRICO, E.
2001 *Implementación de letrinas*, informe inédito, Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, La Paz, Bolivia.

———
2004 *Letrinas sanitarias*, informe inédito, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, La Paz, Bolivia.

VAN DAMME, P.
2002 *Disponibilidad, uso y conservación de los recursos hídricos en el altiplano boliviano*, <www.aguabolivia.org>.

VELÁSQUEZ, L. J.
2003 "Conceptos y experiencias sobre procesos de multiculturalidad e interculturalidad", en Taller Internacional Saneamiento Ecológico, Informe Técnico, Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos, ANESAPA, EcoSanRes, UNICEF, del 17 al 19 de noviembre de 2003, Cochabamba - La Paz, Bolivia.

Información adicional

• Direcciones internet

<www.aguabolivia.org>	Órgano de la Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia (CGIAB). Publicaciones sobre la situación en Bolivia. Muchos enlaces en internet.
<http://saludpublica.bvsp.org.bo>	Biblioteca virtual en salud pública, entre otros en el tema Agua y Saneamiento.

• Instituciones gubernamentales

Institución	Subunidades	Personas de contacto	Teléfono, fax, e-mail
Ministerio del Agua Calle Capitán Castrillo 434 **La Paz - San Pedro** <www.minagua.gov.bo>		Abel Mamani Marca (Ministro del Agua)	Tel. 2 - 2115571 Fax 2 - 2115582
	Viceministerio de Servicios Básicos	Ing. Alcides Franco (Viceministro de Servicios Básicos a.i.)	Tel. 2 - 2116583 Fax 2 - 2116124 <www.sias.gov.bo>
	Unidad de Gestión, Financiamiento e Inversión	Acefalía	Tel. 2 - 2116583 Fax 2 - 2116124
	Unidad de Normas e Institucionalidad	Ing. Rudy Rojas (Jefe de Unidad)	Tel. 2 - 2116583 Fax 2 - 2116124 <rrojas@sias.gov.bo>

	Unidad Territorial de Saneamiento Básico	Ing. Dipl. Enrique Torrico (experto en saneamiento ecológico)	Tel. 2 - 2116583 Fax 2 - 2116124 <etorrico@sias.gov.bo> <quique_torrico@yahoo.es>
	PROAGUAS (Programa de Saneamiento Básico para Pequeños Municipios)	Ing. Fernando Caballero (Coordinador Nacional a.i.)	Tel. 2 - 2152404 y 2152410 Fax: 2 - 2152404 <proaguas@hotmail.com> <www.msvb.gov.bo>
	PROINSA	Ing. José Luis Gómez (Coordinador)	Tel. 2 - 2152404 <jlgomez@sias.gov.bo>
	Viceministerio de Cuencas	Ing. Walter Valda (Viceministro de Cuencas y Recursos Hídricos)	Tel. 2 - 2118582
	Viceministerio de Riego	Ing. Demetrio Céspedes (Viceministro de Riego)	Tel. 2 - 2117155 Tel. 2 - 2116132
Consejo Interinstitucional del Agua (CONIAG) El Consejo funciona en el Ministerio del Agua (dirección ver arriba)	Miembros: – Representantes de los ministerios relacionados con el uso y la gestión del agua – 1 representante acreditado por los municipios – 5 representantes de la sociedad civil		
Ministerio de Planificación del Desarrollo Casilla 12814 Av. Mariscal Sta. Cruz 1092, esq. Oruro Edif. Ex Comibol **La Paz - Centro**		Gabriel Loza Tellería (Ministro)	Tel. 2 - 2116000 (Central) Ministro 2330704, 2330590, 2113258 <comunicacion@planificacion.gov.bo> <snids@planificacion.gov.bo> <www.planificacion.gov.bo>
	Viceministerio de Ciencia y Tecnología	MSc. Ing. Miguel Velásquez Sejas (Viceministro) MSc. Lic. Cristina Pabón Escóbar (Comunicación e información)	Tel. 2 - 2311381 y 2116000 Int. 1601 <mvelasquez@planificacion.gov.bo> Tel. 2116000 Int. 1610 <cpabon@planificacion.gov.bo>
	Viceministerio de Planificación Territorial y	Ing. Isidro Callizaya Mamani (Viceministro)	Tel. 2 - 2312522 <isidro.caliz@yahoo.com> <ishiro_caliz@hotmail.com>

	Ambiental	Lic. Ximena Paredes (Directora General de Planificación Ambiental)	Tel. 2 - 2312664 <paredes_ximena@yahoo.es>
Ministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario y Medio Ambiente Casilla 6069 Av Camacho 1471 **La Paz - Centro** <www.agrobolivia.gov.bo>	**Viceministerio de Biodiversidad, Recursos Forestales y Medio Ambiente**	MSc. Juan Pablo Ramos (Viceministero)	Tel. 2 - 2111103 Fax: 2 - 2129750 <jprbol@gmail.com> <juanparamos@gmail.com>
Superintendencia de Saneamiento Básico (SISAB) Casilla 4245 Av. Mariscal Sta. Cruz 1392 Edif. Cámara Nacional de Comercio Piso 4 y 16 **La Paz - Centro**	Sistema de Regulación Sectorial de agua potable y saneamiento.	Ing. Álvaro Camacho (Superintendente a.i)	Tel. 2 - 2310801 Fax: 2 - 2310554 <acamacho@sisab.gov.bo> <www.sisab.gov.bo>
Gobierno Municipal de La Paz Casilla 10654 Calle Mercado 1298 **La Paz - Centro**		Juan del Granado (Alcalde)	Tel. 2 - 2202000 - 2202030 - 2312010 <www.ci-lapaz.gov.bo>
	Oficialía Mayor Técnica Calle Colombia esq. Mariscal Sta. Cruz Edificio Técnico Municipal, piso 3	Ing. Johnny Bernal Aranibar (Oficial Mayor Técnico) Ejecución y mantenimiento de obras en la ciudad de La Paz.	Tel. 2 - 2312352 y 2312010 int. 3009 <www.lapaz.bo/tecnica>
	Dirección de Calidad Ambiental (DCA) Calle Colombia esq. Mariscal Sta. Cruz Edificio Técnico Municipal, piso 4	Dra. Verónica Gómez (Directora) Entre otros: contaminación de cuerpos de agua urbanos.	Tel. 2 - 2368800 y 2312010 int. 3015
	Dirección de Cuencas y Manejo de Riesgos Av. Uruguay 451	Ing. Vladimir Toro Ibáñez (Director) Manejo de cuencas. Previsión y manejo de riesgos.	Tel. 2 - 2285945 int 11

• Cooperación internacional

Institución	Actividades	Personas de contacto	Teléfono, fax, e-mail
OPS/OMS Plaza España, calle Víctor Sanjinés Nº 2678, Edificio Barcelona 6to. Piso Casilla 2504 - 9790 **La Paz - Sopocachi**	Entre otros: Agua y Saneamiento. Salud Ambiental. Entornos saludables. Municipios saludables. Centro de Información y Documentación (CID).	**Ing. Henry Hernández** Asesor en salud ambiental	Tel. 2 - 2412465 Fax 2 - 2412598 <contacto@bol.ops-oms.org> <hhernandez@bol.ops-oms.org> <www.ops.org.bo>
Programa de Agua y Saneamiento (WSP) - Banco Mundial **La Paz**	Publicaciones sobre proyectos y actividades en Bolivia. Revista Caudal, revista sectorial de agua y saneamiento - Bolivia.		<www.wsp.org/regions/region.asp?id=3#Bolivia/> <dflores@worldbank.org>
Cooperación Alemana al Desarrollo (GTZ) **Programa de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Pequeñas y Medianas Ciudades (PROAPAC)** Casilla 13029 Av. Ecuador 2044 Edif. Señor de la Misión, piso 4 **La Paz - Sopocachi**	Apoyo a las EPSA en ciudades intermedias seleccionadas de Bolivia, en la calidad y sostenibilidad de su prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.	Ing. Cornelia Gerhardt (Coordinadora Programa Proapac)	Telfax: 2 - 2421354 y 2416625 <info@proapac.org> <cornelia.gerhardt@gtz.de>
Cooperación Alemana al Desarrollo (GTZ)-PROAGRO Componente Acceso a Servicios Energéticos Av. Sánchez Lima 2231, piso 2	Diseminación de biodigestores económicos en Bolivia.	Jaime Marti Herrero	Tel. 2 – 2115256 y 2119499 <tallerbiogas@hotmail.com> <www.ender-bolivia.org.>

Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA) Av. Hernando Siles 5290, esq. Calle 7 **La Paz - Obrajes**	Políticas públicas y urbanización en la ciudad de El Alto.	Franck Poupeau (Sociólogo)	Tel. 2 - 2782969 Cel. 701 79713
Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI) Casilla de Correo 12452 Pasaje Villegas entre Av. 20 de Octubre y Av. 6 de Agosto Edificio Anexo Artemis, Piso 1 **La Paz - San Jorge**	Proyectos ECOSAN. Alcantarillado condominial.	Isabel Ascarrunz	Tel. 2 - 211 1820 y 1821, 2243 5011 Fax: 2 - 243 4926 <ambassaden.la.paz@sida.se>
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) Casilla 4679 Calle 13, # 455 **La Paz - Obrajes**	Agricultura y Medio Ambiente. Desarrollo Sostenible. Manejo de cuencas.	Marco Rossi (Consejero - Director)	Tel. 2 - 2751001 Fax: 2 - 2140884 <lapaz@sdc.net> <www.cosude.org.bo>
CUERPO DE PAZ Calle Facundo Quiroga 1644 **Cochabamba**	Captación de aguas de lluvia. Sanitarios de desecación. Infiltración de aguas grises. Alternativas en plantas de purificación.	Javier L. Garza (Director) Lic. Tim McFarren (Director de Proyectos de Saneamiento Básico)	Tel. 4 - 4140824 Fax: 4 - 4549304 <tmcfarren@bo.peacecorps.gov> <http://bolivia.usembassy.gov> <www.peacecorps.gov>

• Organizaciones no Gubernamentales

Institución	Actividades	Personas de Contacto	Teléfono, Fax, e-mail
Fundación Sumaj Huasi Casilla 5036 Calle Landaeta 533 esq. Abdón Saavedra 2do piso **La Paz - San Pedro**	Vivienda saludable. Residuos sólidos. Perforación manual de pozos de agua. Bombas manuales. Sanitarios de desecación. Sanitarios móviles. Energías alternativas.	Ing. Carlos Suntura (Director Ejecutivo) Ing. Oscar Suntura (Coordinador Área Tecnológica, Diseño y Construcción de Letrinas y Sanitarios de Desecación) Ing. Alfredo Terrazas (Hidrogeólogo)	Tel. 2 - 2493947 Fax: 2 - 2116098 <contacto@sumaj.org> <osuntura@sumaj.org> <www.sumaj.org>

ANDESAPA - Asociación Andina de Entidades de Agua y Alcantarillado **Empresas socias:** **ANSAPA - Bolivia** **ACODAL - Colombia** **ANEMAPA - Ecuador** **ANEPSSA - Perú**	Cooperación Regional Andina en Agua y Saneamiento.	Ing. Fernando Ibáñez Presidente	
ANESAPA- Asociación Nacional de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Casilla 13029 Av. Ecuador 2044 Edif. Señor de la Misión, piso 4 **La Paz - Sopocachi**	Prestación de Servicios de Asistencia Técnica. Capacitación, gestión de recursos y representación de sus asociadas. **SAS** - Servicio de Apoyo a la Sostenibilidad. Brazo ejecutor de ANESAPA para servicios de Asistencia Técnica y Capacitación.	Ing. Fernando Ibáñez Presidente Ing. Ronny Vega Gerente General Lic. Michael Roca Director	Tel./Fax 2 - 2411671 y 2411674 <ronny.vega@anesapa.org> <anesapa@anesapa.org> <www.anesapa.org> Tel./Fax 2 - 2420196 y 2421354 <sas@proapac.org> <michael.roca@anesapa.org>
Revista Técnica ANESAPA **CIDISA - Centro de Información y Difusión en Saneamiento Básico**	Difusión semestral de actividades institucionales en el sector de Saneamiento Básico y Tecnologías apropiadas para las áreas urbana y rural.	Oscar Arteaga Responsable	<oscar.arteaga@anesapa.org>
CPTS Av. Mariscal Sta. Cruz 1392 Edif. Cámara Nacional de Industria Piso 12 **La Paz - Centro**	Ahorro de agua, reuso y reciclaje de agua y purificación de aguas residuales en fuente, en la industria. Producción limpia. Reglamento ambiental para el sector Industria.	Lic. Carlos Arce (Director Ejecutivo) Dr. Cecin Curi Dr. Justo Zapata Franz Velasco	Tel. 2 - 2366925 y 2311887
Autoridad Lago Titicaca (ALT) Casilla 12957 Av. 20 de Octubre 2782 **La Paz - Sopocachi**	Plantas de purificación de aguas servidas mediante totora en pueblos ribereños en el lago Titicaca.	Ing. Julián Barra Catacora (Presidente Ejecutivo)	Tel. 2 - 2430881 Fax: 2 - 2431493 <aalt@caoba.entelnet.bo> <www.alt-perubolivia.org>

CARE Bolivia Casilla 6034 Pasaje Jáuregui 2248 **La Paz - Sopocachi**	Entre otros: proyectos de agua y saneamiento básico.		Tel. 2 - 2150700 Fax: 2 - 2150701 <care@carebolivia.org> <www.carebolivia.org>
PROCOSI **Proyecto Vivienda Saludable** Avenida 20 de Octubre 2164 **La Paz - Sopocachi**	Viviendas saludables y saneamiento ecológico en varios departamentos del país para evitar enfermedades como Chagas, infecciones diarreicas y de respiración.	Patricia Herrera	Tel. 2 - 2416061, 2414335, 2424147, 2424471 Fax: 2 - 2424148 <info@procosi.org.bo> <www.procosi.org.bo> <patyherrera@procosi.org.bo>
FUNDASAB **Fundación de Apoyo a la Sostenibilidad de los Servicios de Saneamiento Básico** Av. 20 de Octubre Edif. 20 de Octubre Mezanine, of. 3 **La Paz- Sopocachi**	Servicios de Saneamiento Básico.	Lic. Gloria Lizárraga (Directora Ejecutiva a.i.)	Tel. 2 - 2423273
Escuela Móvil de Agua y Saneamiento (EMAS) **La Paz**	Perforación manual de pozos. Bombas manuales. Sanitarios secos. Cosecha de agua pluvial. Filtros de agua. Colectores solares.	Wolfgang Buchner	Telfax: 2 - 2740286 <www.emas-international.de>
Asociación Boliviana de Ingeniería en Recursos Hídricos (ABIRH) Laboratorio de Hidráulica Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón Av. Petrolera, km. 4 ½ **Cochabamba**	Manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos. Investigación y aplicación práctica.		Tel. 4 - 4217370 Telfax: 4 - 4330010 <http://abirh.org/ABIRH>

Agua Sustentable Casilla 13078 Av. Vera 6766 **La Paz - Irpavi** Av. Hernando Siles Esq. Calle 9 N° 3360 Zona Alto Temporal **Cochabamba**	Asesoramiento a organizaciones sociales nacionales y departamentales relacionadas con agua y riego. Apoyo a políticas públicas y leyes, en: riego, saneamiento básico, calidad del agua y medio ambiente, sistemas de información.		Telfax: 2 - 2151744 <oso@ aguasustentable.org> <www. aguasustentable.org> Tel. 4 - 4473351
Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia (CGIAB) CESU - Centro de Estudios Superiores Universitarios Casilla 5389 Calama E-0235 Cercado **Cochabamba**	Construcción concertada de políticas públicas en manejo y gestión sustentable del recurso agua. Revista mensual Todo sobre el Agua.	Carlos Crespo Flores (Coordinador) Unidad de Comunicación: Ida Peñaranda Pedro Rodríguez	Tel. 4 - 4220317 y 4252951 Fax: 4 - 425625 <www.aguabolivia. org> <ida@aguabolivia. org> <rgarcia@aguabolivia. org>
Fundación SODIS para América Latina Casilla 5783 Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón (UMSS) Calle Sucre (frente al Parque La Torre) **Cochabamba**	Promoción de la desinfección solar del agua con el sistema SODIS.	Marcelo Encalada (Director) Mattias Saladin (Director adjunto)	Tel. 4 - 4542259 y 4 - 4542348 Fax: 4 - 4542259 <sodis@ fundacionsodis.org> <msaladin@ fundacionsodis.org> <www.fundacionsodis. org>
UNICEF **Programa Agua y Saneamiento** Calle Obispo Anaya 227 **Cochabamba** Calle 20 de Calacoto 7720 **La Paz - Calacoto**	Promoción e instalación de tomas de agua potable y sanitarios ecológicos de desecación.	Ing. José Zuleta (Director) Ing. Susana Sandoz	Tel. 4 - 4280268 y 4284054 Fax: 4 - 4280545 <aolsson@unicef.org> <www.unicef.org. bolivia> Tel. 2 - 2770222

Programa Agua Tuya Programa de Agua Potable y Saneamiento de PLASTIFORTE SRL Casilla 6264 Av. Blanco Galido O-3011 (km 3 ½ - Pasarela)	Apoyo a la sostenibilidad. Proyectos de agua potable. Saneamiento ecológico.	Unidad de Apoyo a la Sostenibilidad: Lic. Franz Quiroz Unidad de Implementación de proyectos: Arq. Lourdes Valenzuela	Tel 4 - 424 5193 y 424 6978 Fax: 4 - 411 6592 <fquiroz@aguatuya.com> <www.aguatuya.watsan.net>
Programa Manejo Integral de Cuencas (PROMIC) Casilla 4909 Av. Atahuallpa final - Parque Tunari **Cochabamba**	Manejo integral de cuencas en toda Bolivia.		Tel. 4 – 4290729 y 4291095 Fax: 4 – 2491095 <promic@promic-bolivia.org> <www.promic-bolivia.org>
Programa Agua - Tierra - Campesina (ATICA) Casilla 975 Av. América Oeste, Calle Algarrobos N° 1924 **Cochabamba**	Sitio de Proyectos Municipales.		Telfax: 4 – 4286770 y 4286771 <atica@entelnet.bo> <www.alianzascampesinas.org> <www.atica-bo.org>
Aldeas Infantiles SOS **Centro de Formación Técnica en Agroecología** Carretera a Tiquipaya km1, Av. Linde Casilla 1091 **Cochabamba**	Granja agroecológica incluyendo, entre otros, todos los elementos del manejo de aguas: uso de agua de pozo, filtro de agua para potabilización, cosecha de aguas pluviales, humedales artificiales para aguas negras y para aguas grises, sanitarios ecológicos.	Alberto Melgar	Tel. 4 - 428 8292 y 4 - 431 0976 Fax: 4 - 431 0976 <cenfotecagrop@supernet.com.bo> <amelgar@supernet.com.bo>
Instituto para la Conservación de Ecosistemas Acuáticos (ICEA) Calle Sucre 332 **Santa Cruz**	Conservación de ecosistemas acuáticos.	Lic. Arturo Moscoso (Director)	Tel. 3 - 3347574 <icea@cotas.net> <icea@iceabolivia.org> <www.iceabolivia.org>

Comité Central Menonita (Agencia de Servicio Voluntario de las Iglesias Menonitas de EEUU y Canadá) Casilla 213 Zona La Cuchilla entre 5to y 6to Anillo, camino A Tierras Nuevas (paralelo a la UEB) Ruta Micro 12 y 13 **Santa Cruz**	Producción de inodoros separadores a bajo precio.	Néstor Pérez Rivera (Coordinador Centro de Capacitación y Tecnología Apropiada)	Tel. 3 – 521757 y 3 – 343773 Fax: 3 – 370675 <mcc.bolivia.ccap@scbbs-bo.com> <perezn@scbbs-bo.com>
Instituto de Desarrollo BIBOSI Casilla 709 **General Saavedra Departamento de Santa Cruz**	Sanitarios ecológicos. Infiltración de aguas grises.	Adriana Burela (Directora) Armida Núñez	Tel. 0103-3-9246224 Tel. 9246224 Fax: 9246201 <bibosi@mail.infonet.com.bo>

• Consultoras

Institución	Actividades	Personas de Contacto	Teléfono, fax, e-mail
SIMBIOSIS Av. Arce 2103 dif.. Venus, piso 3, of. 3ª **La Paz – Sopocachi**	Servicios integrales de medio ambiente. Monitoreo de aguas y mitigación de contaminación. Tratamiento de aguas servidas. Diseño de humedales artificiales para la purificación de aguas residuales.	MSc. Evelyn Taucer	Tel. 2 – 2111828 Telfax: 2 – 2111829 <evelyntaucer@yahoo.com>

• Universidades

Institución	Actividades	Personas de Contacto	Teléfono, fax, e-mail
Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental **UMSA** Av. Villazón 1995 Pabellón 103 **La Paz – Centro**	Ingeniería sanitaria: capacitación en captación, distribución y tratamiento de agua potable, recolección, depuración y disposición de aguas residuales. Postgrado: Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Laboratorio de Análisis de Aguas.	Ing. José Díaz Ing. Grover Rivera Ing. Carlos España Ing. Francisco Bellot Ing. Oscar Paz Ing. Edwin Astorga Ing. Gregorio Carvajal Lic. Graciela Espinoza Dra. Eufemia Briancon	Tel. 2 – 2441519 Fax 2 – 2440121 <iis-umsa@umsa.bo>
Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) **UMSA** Casilla 699 Calle Andrés Bello s/n, esq. Calle 30 Campus Universitario **La Paz – Cota Cota**	Hidrología e Hidráulica, Hidrología de Bolivia.	Ing. Carlos Herbas Camacho (Director) Ing. Edson Ramírez (experto en retiro de glaciares)	Tel: 2 – 2795724 Telfax: 2 – 2795725 <http://fi.umsa.bo/fi/app?service=page/IHH> <ihh@acelerate.com>
Instituto de Ecología **UMSA** Casilla 10077 Calle 27 de Cota Cota Campus Universitario **La Paz – Cota Cota**	**Unidad de Limnología:** Ecología de cuerpos de agua naturales. Bioindicación acuática. **Unidad de Calidad Ambiental (UCA):** Ecología Urbana. Bioindicación acuática. Humedales artificiales. Saneamiento ecológico. Manejo descentralizado de aguas. **Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA):** Análisis de aguas y suelos (entre otros).	MSc. Julio Pinto Lic. Rubén Marín Lic. Roberto Apaza Dra. Margot Franken Lic. Jaime Chincheros	Tel.: 2 – 2794165 <julio.julpin@gmail.com> <rubemares@yahoo.es> <robertoapaza@yahoo.es> Tel.: 2 – 2772522 mvfranken@gmail.com Tel.: 2 – 2772522 <lca_ie@yahoo.com>

Instituto de Biología Molecular y Biotecnología UMSA Calle 27 de Cota Cota Campus Universitario **La Paz – Cota Cota**	Ecotoxicología y Genotoxicología en aguas naturales y efluentes de aguas residuales.	Lic. Gloria Rodrigo	Tel. 2 – 2796891 <mutagentox@yahoo.com> <gloryrodrigo@yahoo.es>
Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (CENTRO AGUA) Av. Petrolera, km 4 ½ hacia Santa Cruz Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Universidad Mayor de San Simón (UMSS) **Cochabamba**	Gestión del agua, especialmente para riego.	Alfredo Durán (Coordinador General) Iván del Callejo (Coordinador Uso de Agua)	Tel. 4 – 426382 y 4762280 <idelcallejo@centroagua.org> <alfduran@centroagua.org> <centroagua@centroagua.org> <http://centroagua.org>
Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA) Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón (UMSS) Calle Sucre, frente al Parque la Torre Casilla 5783 **Cochabamba**	Laboratorio de análisis de aguas. Monitoreo de contaminación en ecosistemas acuáticos. Tratamiento de aguas. Capacitación en agua y saneamiento. Desinfección solar del agua. Investigación de sanitarios ecológicos.	Lic. Jenny Rojas (Directora) Lic. Ana María Romero (Responsable Sistema de Gestión) Lic. Janette Verduguez (Responsable de Laboratorios) Lic. Olver Coronado (Responsable Proyecto SODIS)	Tel. 4 – 4250660 y 4229480 Fax 4 – 4229480 <jmrojasc@supernet.com.bo> <aguas@fcyt.umss.edu.bo> <ucatra@comteco.entelnet.bo>

Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA) Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón (UMSS) Casilla 992 **Cochabamba**	Biodiversidad. Manejo de lagunas eutrofizadas urbanas y reservorios de agua interandinas. Bioindicación acuática.	Dra. Dylian Castellón Reynaga (Responsable) MSc. Edgar Goitia MSc. Mabel Maldonado	Tel. 4 - 4121310 Fax: 4 - 4231765 <limnodir@fcyt.umss.edu.bo>
Centro de Planificación y Gestión (CEPLAG) Universidad Mayor de San Simón (UMSS) **Cochabamba**	Investigación en demografía y territorialidad. Investigación en agua, saneamiento y género, en Cochabamba y El Alto. Promoción los derechos de las mujeres al agua. Facilitación de negociaciones para abordar conflictos de tierra y agua.	Dra. María del Carmen Ledo (Directora)	Tel. 4 - 4542759 <carmenledo@ceplag.edu.bo> <www.ceplag.edu.bo>
Spectrolab Universidad Técnica de Oruro (UTO) Ciudadela Universitaria Zona Sud Av. Dehene dif.. Metalurgia Casilla 252 **Oruro**	Control ambiental. Laboratorio de análisis de agua y suelos (entre otros).	Ing. Rosario Mena (Gerente General)	Tel. 2 - 5262983 y 5264666 Tel.Fax 2 - 5260008 <spectrolab@coteor.net.bo> <www.geocities.com/spectrolab2000/spectrolab.html>

• Expertos

Experto	Especialidades	Dirección	Teléfono, fax, e-mail
Ing. Betty Soto Terrazas	Manejo de agua. Salud pública. Saneamiento básico, principalmente rural. Desarrollo comunitario y género. Metodologías de capacitación.	**SNV** Calle Fernando Guachalla 384, esq. 20 de Octubre **La Paz - Sopocachi**	Tel. 2 - 2414080, 2128425, 2410665, 2128426 Fax: 2 - 2128931 <bsototerrazas@snvworld.org> <bolivia@snvworld.org> <www.snvla.org/pais/Bolivia>
Ing. Ronny Vega	Ingeniería Sanitaria. Purificación tradicional de aguas para uso doméstico.	ANESAPA - ANDESAPA Edificio Señor de la Misión Av. Ecuador 2044 **La Paz – Sopocachi** Casilla 13029	<Ronny.vega@anesapa.org> Tel./Fax 2411671 – 74
Dr. Wolfgang Wagner	Ingeniería Sanitaria. Lagunas de estabilización. Humedales artificiales de tratamiento de aguas residuales. Filtros de suelo de retención para el tratamiento de aguas pluviales.	Experto Integrado CLM en ANESAPA Edificio Señor de la Misión Av. Ecuador 2044 **La Paz - Sopocachi** Casilla 13029	<wolfgang.wagner@anesapa.org>
Ing. Marco Quiroga	Sistemas de agua en zonas rurales.	Consultor independiente **La Paz**	<marcoquiroga@hotmail.com>
MSc. Evelyn Taucer	Diseño de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales. Gestión de aguas y minería. Ecología de cuerpos de agua naturales. Bioindicacion acuática.	**SIMBIOSIS** Av. Arce 2103 Edif. Venus, piso 3, of. 3ª **La Paz - Sopocachi**	Tel. 2 - 111828 Telfax: 2 - 111829 <evelyntaucer@yahoo.com>
Dra. Margot Franken	Manejo descentralizado de aguas en general. Construcción de sanitarios ecológicos. Diseño de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales. Ecología de cuerpos de agua naturales. Bioindicación acuática.	Instituto de Ecología - UMSA Campus Universitario Cota Cota, Calle 27 **La Paz - Cota Cota** Casilla 10077	Tel. of. 2772522 Tel. celular 715 62264 <mvfranken@yahoo.com> <mvfranken@gmail.com>

Ing. Alberto Pati	Vermicompostaje.	TERSA S.A. Av. Hernando Siles 4629 **La Paz - Obrajes**	Tel. Of. TERSA 2 - 2783041 Tel. celular 725 05016
MSc. Marithza del Castillo	Limnología Restauración de lagunas.	Directora Postgrado Universidad Mayor de San Simón (UMSS). **Cochabamba**	Tel. celular 717 27555 <villadelcastillo@hotmail.com>

• Proveedores

Fundación Sumaj Huasi Casilla 5036 Calle Landaeta 533 esq. Abdón Saavedra 2do piso **La Paz - San Pedro**	Vivienda saludable. Residuos sólidos. Perforación manual de pozos de agua. Bombas manuales. Sanitarios de desecación. Sanitarios móviles. Energías alternativas.	Ing. Carlos Suntura (Director Ejecutivo) Ing. Oscar Suntura (Coordinador Área Tecnológica, Diseño y Construcción de Letrinas y Sanitarios de Desecación) Ing. Alfredo Terrazas (Hidrogeólogo)	Tel. 2 - 2493947 Fax: 2 - 2116098 <contacto@sumaj.org> <osuntura@sumaj.org> <www.sumaj.org>
SOLCON S.R.L. Soluciones constructivas (Empresa ligada con la Fundación Sumaj Huasi) Oficina central: Landaeta 533, esq. Abdón Saavedra Casilla 10811 **La Paz - San Pedro**	Obras para recursos hídricos y agua residual: – Captación de agua superficial y subterránea – Sistemas de agua potable – Plantas de tratamiento – Reservorios, presas, atajos o tajamares – Tanques de Ferrocemento – Bombas manuales, mecánicas, eólicas y ariete hidráulico – Perforación de pozos manual y mecánico en zonas distantes – Producción de inodoros separadores de fibra de vidrio.		Tel./Fax: 2 - 2494180 <solcon@bolivia.com>

CALITEC Bolivia Ltda. **Arq. Patrick Walter** <www.calitecbolivia.com>	RST - Ahorradores de agua: – Accesorios de bajo consumo de agua para grifos. – Duchas de bajo consumo de agua.	**Central La Paz:** Prolongación Av. Ballivián, esq. Calle 24 de Calacoto Tel. 2 - 2128498 **Cochabamba:** Calle Alfredo Domínguez 100 Esq. Av. Blanco Galindo km 3 ½ Telfax: 4 - 4893856 **Santa Cruz:** Av. Santa Cruz 882 (casi esq. Av. Brasil) Tel. 3 - 3302431 Celular 721 56441	**Otras tiendas en La Paz:** Bazar-Ferretería Electro "Mundial" Av. Ecuador 2166 Sopocachi Tel. 2 - 2418692
AGUAPURA Estaban Arce 662 **Cochabamba**	Purificación y tratamiento de aguas: • Filtros domiciliarios e industriales • Ablandadores • Ósmosis inversa • Ozonizadores • Equipos UV • Cloradores • Pasteurizadores solares • Plantas de tratamiento de RILES.		Tel.-Fax: 4 - 44501104 y 4118278 <aguapura@mixmail.com> <aguapura@entelnet.bo> <www.aguapura.info>
Fábrica Cerámica ZIL Av. Blanco Galindo km 5 ½, Coña Coña **Cochabamba**	Inodoros ecológicos y urinarios sin agua, en cerámica.	Fernando Luciano Postigo Gamez	Tel. 4 - 442484 Celular 707 12426 <ceramicazil@supernet.com.bo>
Comité Central Menonita (Agencia de Servicio Voluntario de las Iglesias Menonitas de EEUU y Canadá) Casilla 213 Zona La Cuchilla entre 5to y 6to Anillo, camino A Tierras Nuevas (paralelo a la U.E.B.) Ruta Micro 12 y 13 **Santa Cruz**	Producción de inodoros separadores de concreto a bajo precio.	Néstor Pérez Rivera (Coordinador Centro de Capacitación y Tecnología Apropiada)	Tel. 3 - 521757 y 3 - 343773 Fax: 3 - 370675 <mcc.bolivia.ccap@scbbs-bo.com> <perezn@scbbs-bo.com>

Cooperativa de Servicios Públicos Okinawa Ltda. Av. Ryukyu esq Av. 15 de Agosto **Okinawa - Santa Cruz**	Construcción de letrinas aboneras.		
STP SANEAR Calle 3 # 28 Barrio Ende **Santa Cruz**	Tanques de polietileno para agua potable.		Tel. 3 - 3449658 <contactos@stpsanear.com> <www.stpsanear.com>

SIGLAS, ACRÓNIMOS, GLOSARIO

Instituciones con sus siglas y acrónimos

ASDI (= SIDA = Styrelsen foer Internationellt Utvecklingssamarbete)
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

ATV (Abwassertechnische Vereinigung)
Asociación para la técnología de las aguas residuales. Organización profesional más importante para las aguas residuales en Alemania.

BMBF (Bundesministerium fuer Bildung und Forschung)
Ministerio Federal de Educación e Investigación (de Alemania).

BMZ (Bundesministerium fuer Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (de Alemania).

CREPA (Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût)
Centro Regional para Agua Potable y Saneamiento a Bajo Costo, Institución interestatal de 17 países africanos, con sede en Burkina Faso.

DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft)
Fundación Alemana de Investigación.

EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz)
Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua.

EMPA (Eidgenoessische Materialpruefungsanstalt)
Instituto Suizo para la Prueba de Materiales.

EPA (Environmental Protection Agency)
Agencia de Protección del Medio Ambiente (de los Estados Unidos).

EU (Europaeische Union)
Unión Europea (UE).

GTZ (Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit)
Agencia de Cooperación Técnica Internacional de Alemania.

IDRC (Internacional Development Research Center)
Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (de Canadá).

IWA (International Water Association)
Asociación Internacional del Agua.

Mvula Trust
ONG en Sudáfrica para agua y saneamiento.

Novaquatis
Programa de investigación de SANDEC/EAWAG sobre inodoros separadores y uso de orina.

UNDP (United Nations Development Programme)
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

UNEP (United Nations Environment Programme)
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

UNICEF (United Nations Children's Fund)
Fondo de Naciones Unidas para la Infancia.

OMS
Organización Mundial de Salud.

OPS
Organización Panamericana de Salud.

SANDEC
Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo (Departamento de EAWAG).

SANRES (Sanitation Research)
Investigación en Saneamiento (ONG de Suiza).

SCI (Solar Cookers Internacional)
Cocineros Solares Internacionales (ONG de Estados Unidos).

SDC (Swiss Agency for Development and Cooperation)
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

WB_WSP (World Bank Water Supply and Sanitation Program)
Programa de Suministro de Agua y Saneamiento del Banco Mundial.

WHO (World Health Organization)
Organización Mundial de Salud.

WSSCC (Water Supply and Sanitation Collaborative Council)
Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento.

Glosario

Acequia
Canal rústico de riego, generalmente de tierra.

Acequia filtrante
Acequia somera, en forma de depresión, cubierta de pasto, donde el agua parcialmente infiltra, drena y evapora.

Acondicionador de suelo
Sustancia que mejora la estructura del suelo, por ejemplo, compost o humus.

Acuífero
Capa de aguas subterráneas en mayor profundidad.

Aerénquima
Sistema de conducción de aire en tallos, rizomas y raíces de una planta, especialmente desarrollado en plantas acuáticas y semiacuáticas.

Aguas ajenas
Aguas subterráneas y/o aguas pluviales que entran al alcantarillado por infiltración, conexiones erróneas, sumideros etc.

Aguas amarillas
Orina sin o con dilución con agua, colectada en urinarios sin agua y/o inodoros separadores.

Aguas cafés
Aguas servidas del barrido de inodoro, sin la orina.

Aguas crudas
Aguas provenientes de diferentes orígenes en la naturaleza y que se extraen para su uso doméstico u industrial.

Aguas de servicio
Toda el agua usada en cualquier actividad, que no es usada para el consumo humano directo, en este libro el término se refiere a las aguas usadas en la vivienda aparte de las aguas para beber y cocinar. Puede tener menor calidad que el agua potable. Generalmente, para el agua de servicio en la vivienda se requiere calidad de agua de recreación definida por la OMS y muchos reglamentos nacionales.

Aguas grises
Aguas servidas domésticas aparte de las aguas negras, producto de la limpieza personal y el lavado de alimentos y utensilios en la cocina. También son conocidas como aguas jabonosas. Algunos autores excluyen las aguas de cocina de este término porque están cargadas con restos de comida, aceites y grasas.

Aguas negras
Aguas servidas provenientes del barrido de inodoro, contienen orina, residuos fecales y otros ingredientes echados al inodoro, como papel y otros. Una persona produce anualmente 45 kg de residuos fecales y entre 500 y 540 litros de orina. Los excrementos de personas vegetarianas en regla tienen más volumen, son más claros, tienen menos olor y contienen menos nitrógeno y fósforo. También se llaman aguas negras, las aguas servidas de los inodoros mezclados con aguas grises.

Aguas pluviales
Agua proveniente de precipitaciones (lluvia, nieve, granizado etc.).

Aguas potables
Agua de calidad alta, apta para el consumo humano. Su calidad mínima admisible se define en reglamentos nacionales y de la OMS. Agua potable se necesita para 1 a 5% de los usos domésticos del agua.

Aguas residuales
Todas las aguas usadas en cualquier actividad y alteradas durante su uso.

Aguas servidas
Todas las aguas usadas en cualquier actividad y alteradas durante su uso.

Aguas servidas domésticas
Todas las aguas servidas producidas a nivel doméstico, incluye aguas grises y aguas negras. El contenido de nutrientes en 1 m^3 de aguas servidas domésticas es en promedio 80 g N, 20 g P y 60 g K.

Aguas servidas municipales
Todas las aguas servidas del municipio, mezcla de muchas sustancias, en principio contienen las aguas servidas domésticas; pero también otras de origen de hospitales e industrias, etc., aguas pluviales y aguas ajenas.

Aguas subterráneas
Agua infiltrada al suelo, en una profundidad hasta cientos de metros. Una de las fuentes importantes para suministro de agua potable.

Aguas superficiales
Agua de ríos, arroyos, lagos y lagunas.

Alcantarillado
Sistema de evacuación de las aguas residuales. Sistema para trasladar un problema a otro lugar.

Alimento balanceado
Alimento procesado para animales domésticos.

Almacén de aguas amarillas
Contenedor grande para almacenamiento y estabilización de orina.

Almizcle
Sustancia grasa muy olorosa segregada por la glándula de un mamífero, usada en cosméticos y perfumes.

Andrógino
Animal superior con dos sexos.

Artefacto de bajo consumo
Todos los artefactos para regular y minimizar la cantidad de agua de flujo (grifos, cabezas de ducha, botones de barrido en inodoros WC con tanque de agua).

Atmósfera
Capa de aire que rodea el planeta Tierra.

Autopurificación
Proceso en la naturaleza mediante el cual un río, por ejemplo, puede volver a su estado natural después de un evento de contaminación. En este proceso están involucrados especialmente los microorganismos.

Bacinica de losa
Baño turco. Sanitario en el piso, para acuclillarse (ver figuras 184d y 189a).

Baño turco
Bacinica de loza. Sanitario en el piso, para acuclillarse (ver figuras 184d y 189a).

Bifeniles policlorados
Sigla en inglés PCB. Sustancias orgánicas de origen antropógeno, usadas principalmente en transformadores eléctricos. Altamente tóxicos y persistentes.

Biocenosis
Comunidad de organismos de diferentes especies que viven en el mismo hábitat o biótopo.

Bioconversión
Conversión de desechos orgánicos mediante microorganismos y/u organismos superiores en compost, humus de lombriz u otros.

Biodegradable
Una sustancia biodegradable se descompone por la actividad de organismos vivos, generalmente microorganismos.

Biodegradación
Proceso de degradación o descomposición biológica.

Biodisco (rotatorio)
Un elemento en forma de disco rotatorio usado para la purificación de aguas residuales (ver capítulo VI, subtítulo 2.1.). Se unen varios discos en un eje rotatorio, dentro de un canal por donde fluye el agua residual. Los discos están cubiertos con agua hasta la mitad, y por la rotación entran y salen del agua, oxigenando de esta manera el agua y en especial el biofilm activo formado sobre su superficie.

Biofilm
Película bacterial adherida a un sustrato. Capa de bacterias y otros microorganismos sobre un sustrato sólido, activa en procesos de descomposición y purificación en el medio acuático.

Biogás
Gas metano formado durante un proceso de fermentación a partir de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Biosfera
Conjunto de organismos vivos en el planeta tierra.

Biótopo
Hábitat o lugar específico donde vive una comunidad o biocenosis específica, por ejemplo, un charco, la copa de un árbol etc.

Cadena trófica
Cadena de organismos unidos por su hábito alimenticio, por ejemplo, planta (alga) - animal herbívoro (pulga de agua) - animal carnívoro 1 (trucha) - animal carnívoro 2 (ave rapaz).

Cámara de absorción
Una cámara de absorción e infiltración de líquidos al suelo, construida como parte adicional después de una cámara séptica de aguas servidas.

Carga de contaminantes
Totalidad de sustancias contaminantes que entra, por ejemplo, a un cuerpo de agua receptor durante un tiempo definido.

Carga hidráulica
Totalidad de agua que entra a un cuerpo de agua receptor durante un tiempo definido.

Catalizador
Sustancia que induce una reacción química sin formar parte del producto final.

Caudal de bajo nivel
Caudal mínimo en un cuerpo de agua corriente.

Cepas (patógenas)
Variedades de especies de bacterias, virus u hongos (infecciosas para el humano).

Cloro libre (Cl_2)
Gas tóxico que se usa en la desinfección de las aguas, principalmente en el agua potable.

Coeficiente de permeabilidad (kf)
Indica la permeabilidad del suelo para el agua. Depende de la densidad del suelo, de su granulometría y la distribución de los diferentes tamaños de granos.

Coliformes fecales
Bacterias intestinales generalmente no patógenas. Se usan como indicador de contaminación fecal. Algunas cepas de los coliformes fecales son patógenas.

Coliformes totales
Bacterias semejantes a los coliformes fecales, pero no restringidas en su hábitat al sistema intestinal. Pueden encontrarse en suelo y agua.

Compactaciones permeables
Compactaciones del suelo con coeficientes de escurrimiento entre 0,2 y 0,5 (ver tabla 23). Incluyen pavimento poroso aligerado, cubiertas fraguadas con agua, cascajo con pasto, y diferentes empedrados con porcentaje alto de ranuras o huecos.

Compost
Abono natural generado por un proceso aeróbico de compostaje, a partir de desechos orgánicos como vegetales de jardín y cocina, excrementos animales y/o humanos.

Compostaje
Proceso aeróbico de descomposición de materia orgánica compleja en elementos o compuestos más simples, con generación de compost. Proceso aplicable a la descomposición de residuos fecales para la producción de abono.

Conducto de caída
Tubo ancho por el cual se caen los residuos fecales al depósito, en sanitarios de compostaje o de deshidratación.

Contaminante
Una sustancia dañina para los organismos vivos.

Contenedor de purín
Contenedor grande para el almacenamiento de los excrementos de animales domésticos.

Cosecha de aguas pluviales
Colecta de aguas de lluvia generalmente de los techos de las casas, además se pueden colectar de patios, vías de tráfico y otras superficies selladas.

Costo real del proyecto
Valor de una secuencia de costos (planificación, inversión, mantenimiento, reinversión) en un momento determinado. La comparación de varias alternativas de proceso por este método muestra por diferencia el ahorro capitalizado de los costos.

Cubierta fraguada con agua
Compactación de una superficie con material mineral (ripio, grava) y adición de pavimento poroso aligerado.

Cuerpo receptor
Cuerpo de agua que recibe drenajes, que pueden ser limpios o contaminados.

Cultura coprofílica
Cultura cuyas creencias le permiten hablar de y aprovechar la excreta humana.

Cultura coprofóbica
Cultura cuyas creencias le impiden hablar de y manejar la excreta humana.

DB●5: Demanda biológica de oxígeno
Cantidad de oxígeno consumido por bacterias aeróbicas, en oscuro, durante cinco días. Es una medida de la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua.

Desnitrificación
Proceso biológico de remoción de sustancias nitrogenadas del agua mediante la conversión de nitratos en nitrógeno gaseoso, importante en la remoción de sustancias nitrogenadas de las aguas servidas.

Depósito sanitario
Depósito controlado de desechos sólidos.

Descomposición aeróbica
Descomposición de materia orgánica por microorganismos que necesitan oxígeno durante este proceso. El compostaje es un proceso de descomposición aeróbica.

Descomposición o fermentación anaeróbica
Descomposición de materia orgánica por microorganismos que no utilizan oxígeno para este proceso, sino se aprovisionan de energía a partir de otras sustancias. La formación de biogás depende de una fermentación anaeróbica.

Desecar
Secar, deshidratar.

Deshidratar
Proceso mediante el cual se pierde agua.

Desellado
Aumento de la capacidad de infiltración de superficies selladas o compactadas por eliminación o alteración de la cubierta.

Desinfección
Eliminación y/o destrucción de organismos patógenos.

Desviación de orina
Separación de la orina durante el proceso de defecación.

Desviador de orina
Tubo que desvía la orina y la separa de los residuos fecales sólidos.

DQO = Demanda química de oxígeno
Cantidad de oxígeno usada en un proceso químico de oxidación. Es una medida de la cantidad de materia orgánica total en el agua. Incluye la demanda biológica de oxígeno.

ECOSAN (Ecological Sanitation)
Saneamiento ecológico, incluye conceptos, medidas y tecnologías sanitarias ecológicas (ver capítulo IV).

Ecosistema
Una parte de la naturaleza, que tiene ciertas características específicas y donde los organismos presentes y su medio ambiente forman un conjunto definido, por ejemplo, un lago o un bosque.

Elemento traza
Elemento presente en la naturaleza en muy bajas concentraciones, se refiere generalmente a los metales pesados o elementos esenciales para los organismos en baja concentración.

Embalse
Un lago artificial embalsado por un muro, generalmente usado para abastecimiento de agua y/o generación de electricidad.

Emisión
Evacuación de una sustancia contaminante al medio ambiente, por ejemplo, salida de gases de una chimenea o evacuación de aguas servidas a un cuerpo receptor.

Endocrino
Perteneciente o relativo a las hormonas o secreciones internas.

Endoesporas
Esporas cuyo proceso de formación se lleva enteramente dentro de la célula. Las endoesporas son muy resistentes contra varios factores climáticos, como sequedad y altas temperaturas.

Espesamiento de lodos
Proceso hidráulico para drenar agua de los lodos que se forman durante los procesos de purificación de aguas y facilitar su manejo.

Estabilización de lodos
Proceso biológico de estabilización de la materia orgánica en lodos de depuración mediante la conversión de la materia orgánica en gases y en tejido celular de microorganismos. El gas metano se usa como fuente de energía.

Estado de agregación (del agua)
El agua tiene tres estados o fases de agregación, hielo (fase sólida), agua (fase líquida) y gas (fase aérea).

Estrategia "final de tubo" (End-of-pipe)
Estrategia de solucionar un problema no en el lugar de origen, sino al final, por ejemplo, antes de la entrada de un agua servida al cuerpo receptor.

Eutrofización, eutrofizar
Proceso de cambios en un ecosistema acuático por la entrada de nutrientes y materia orgánica.

Excreta
Material de desecho que incluye tanto la orina como las heces descargados por un organismo.

Fermentación
Proceso anaeróbico de descomposición de materia orgánica compleja en elementos o compuestos más simples, con generación de abono y biogás. Proceso aplicable a la descomposición de fecales.

Férrico
Con contenido de hierro.

Filtros percoladores
Filtros de tratamiento de aguas que consisten en una cama de materiales porosos que permiten percolar el agua contaminada. Sobre la superficie del sustrato se forma un biofilm de microorganismos activos en la purificación del agua (ver capítulo VI, subtítulo 2.1.).

Flujos segregados = flujos separados = flujos parciales
Flujos de desechos líquidos o sólidos, separados según su origen y características.

Fotocatálisis
Proceso de reacción química inducida por la luz y un catalizador.

Fotosíntesis
Proceso de sintetización de moléculas orgánicas a partir de dióxido de carbono y agua, en presencia de luz, que se realiza en las partes verdes de la planta.

Gérmenes patógenos
Microorganismos patógenos, infecciosos, causantes de enfermedades.

HCES (Household Centred Ecological Sanitation)
Saneamiento ambiental centrado en la vivienda. Incluye todas las tecnologías sanitarias ecológicas (ver capítulo III).

Helófita
Macrófita emergente. Planta acuática o semiacuática emergente, por ejemplo, la totora (ver figura 49).

Higiene sanitaria
Medidas higiénicas después de la defecación.

Higiene corporal
Limpieza corporal, como lavado de manos, ducha, baño.

Higienización
Desinfección de cualquier sólido, agua o aire.

Hipoclorito
Sustancia clorada usada para la desinfección del agua.

Humedal
Ecosistema acuático y semiacuático, como lago, laguna, río, bofedal.

Humedales artificiales o humedales construidos
Biótopos húmedos construidos para la purificación de aguas, con vegetación sumergida, flotante o emergente (ver capítulo VI, subtítulo 2.2.2.). Actualmente se usan principalmente los siguientes géneros de plantas:
- Vegetación flotante: *Eichhornia* y *Lemna*.
- Vegetación emergente: cañas de agua como *Scirpus*, *Schoenoplectus*, *Phragmites*, *Typha*.

Humificación
Transformación de materia orgánica muerta en humus o tierra (ver capítulo VI, subtítulo 2.5.; y capítulo VIII, subcapítulo 2.2.1.).

Humus
Material de color café o negro, rico en nutrientes, que resulta de la descomposición parcial de materia vegetal y animal, y que forma la porción orgánica del suelo.

Humus de lombriz
Humus producido por la descomposición de materia orgánica vegetal y animal mediante lombrices. Proceso aplicable a la descomposición de residuos fecales para la producción de abono.

Infiltración centralizada
Infiltración centralizada de las aguas pluviales de varios terrenos vecinos, de una urbanización, de una población o de una zona industrial.

Infiltración descentralizada
Infiltración de aguas pluviales en el mismo terreno, donde se origina el escurrimiento o en superficies adyacentes.

Infiltración en depresiones
Infiltración por superficies permeables en una depresión de distinta forma entre redonda y alargada, por capas superficiales de granulometría fina y con vegetación, generalmente pasto (ver figura 69, capítulo VII, subtítulo 3).

Infiltración en superficies planas
Infiltración por superficies permeables con o sin pendiente (ver figura 68, capítulo VII, subtítulo 3).

Infiltración por pozo
Infiltración puntual por un pozo directamente a capas permeables del suelo (ver figura 76, capítulo VII, subtítulo 3).

Infiltración por *Rigolen*
Infiltración lineal por una *Rigole* (ver figura 70, capítulo VII, subtítulo 3).

Infiltración técnica
Sistemas planificados y construidos para la infiltración de aguas pluviales.

Infraestructura de flujo lineal
Sistema convencional de abastecimiento de agua y evacuación de aguas servidas

en forma linear, sin posibilidad de reuso o reciclaje (ver figura 3, capítulo II, subtítulo 1.1.).

Inmisión
Concentración de una sustancia contaminante en el medio ambiente, por ejemplo, concentración de un gas contaminante en una zona urbana determinada o concentración de un pesticida en una laguna.

Inodoro separador
Inodoro que separa orina y residuos fecales por sus características constructivas (ver figuras 33 y 34, capítulo IV, subtítulo 4.4.).

Intercambiador de calor
Equipo que recupera el calor de una sustancia mas caliente que el medio ambiente, por ejemplo, agua caliente.

Laguna de estabilización
Laguna construida para recibir y purificar aguas residuales (ver capítulo VI, subtítulo 2.2.1).

Lenteja de agua
Planta acuática flotante en la superficie del agua, de reducido tamaño, con hojas en forma de lentejas. Varias especies del género *Lemna*.

Letrina
Sanitario seco con depósito de excrementos. Funciona anaeróbicamente, produce malos olores y contamina las aguas subterráneas por filtración. Después de su llenado, los lodos formados se tienen que evacuar o la letrina se debe llevar a otro lugar.

Límites permisibles
Valores máximos reglamentados por ley para la emisión e inmisión de contaminantes, radiaciones, ruido etc., en agua, aire, suelo, alimentos y en el cuerpo humano. Para la emisión de sustancias peligrosas, los límites no se orientan en un efecto definido (por ejemplo, la salud humana o el equilibrio del ecosistema acuático), sino en las técnicas disponibles y accesibles de tratamiento.

Litosfera
Capa inorgánica firme de minerales que rodea al planeta tierra.

Lodos activados
Masa bacteriana en suspensión que se forma en los estanques de purificación de aguas servidas y realiza el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Lodos de depuración = lodos de purificación
Lodos que se forman durante el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Lodos de purificación = lodos de depuración
Lodos que se forman durante el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Loza sanitaria para acuclillarse = bacinica de loza
Retrete formado por un hueco en el piso para defecar y orinar.

Macrófita
Planta acuática superior, incluyendo las algas bentónicas de porte grande adheridas al sustrato.

Manto freático = napa freática
Capa de agua subterránea cercana a la superficie.

Materia orgánica
Sustancia natural y potencialmente fertilizante proveniente de plantas y animales en descomposición.

Metabolito
Sustancia transformada a partir de una sustancia orgánica de origen.

Mezcladores termostáticos
Grifos mezcladores de agua fría y caliente que se programan a una temperatura definida.

Microcontaminantes
Contaminantes que ocurren en la naturaleza sólo en cantidades mínimas, por ejemplo, metales pesados y ciertas sustancias orgánicas. En general, se refiere a sustancias orgánicas tóxicas de origen antropógeno, incluido fármacos encontrados en el medio ambiente.

Microelementos esenciales
Elementos esenciales para los organismos vivos necesarios en mínimas cantidades.

Microfiltración
Sistema de filtración fina para separación de sustancias particuladas y bacterias (ver figura 43, capítulo V).

Nanofiltración
Sistema de filtración muy fina para descalado del agua, separación de ma-

cromoléculas, pesticidas, lacas y pinturas y separación de virus (ver figura 43, capítulo V).

Napa freática = manto freático
Acuífero más cercano a la superficie del suelo.

Naturación
Introducción de vegetación sobre superficies edificadas como fachadas, azoteas, techos, cercos y uso de la vegetación como elemento estructural en la arquitectura.

Nitrificación
Proceso biológico de conversión de amonio primero en nitritos y luego en nitratos, importante en la remoción de sustancias nitrogenadas de las aguas servidas.

Ósmosis
Paso recíproco de líquidos de distinta densidad a través de una membrana que los separa.

Ósmosis inversa
Desalinización del agua hasta la separación total de sustancias diluidas por membranas osmóticas.

Paradigma
Esquemas formales a los que se ajustan las palabras nominales y verbales.

Parásito
Organismo que vive en o sobre otro y se beneficia de ello, por ejemplo, los gusanos intestinales.

Pasivos ambientales
Contaminaciones de suelo, agua y aire por actividades pasadas, por ejemplo, colas de mina.

Pasteurización
Higienización de líquidos para consumo humano como leche y agua, por la elevación de la temperatura a más de 60 grados Celsius.

Patógeno
Microorganismo causante de una enfermedad.

Pedestal
Estructura elevada donde se coloca o incorpora el asiento de la taza de inodoro. Se usa en las culturas donde la gente se sienta a defecar u orinar.

Película bacterial adherida
Ver biofilm.

Perlador
Artefacto que se acopla a un grifo de agua e introduce aire al chorro de agua para minimizar y homogeneizar el flujo.

Permeabilidad
Propiedad del suelo para dejar pasar líquidos.

Persistencia, persistente
Una sustancia persistente en el medio ambiente no se degrada por largos tiempos o sólo se degrada a productos secundarios de la misma complejidad. La persistencia de una sustancia en el ambiente es importante para evaluar su efecto biológico.

pH
Medida de acidez y alcalinidad del agua y soluciones acuosas, que varía entre 1 y 14. Una solución acuosa con pH de 7 es neutra, un pH por debajo de 7 significa acidez, un pH por encima de 7 significa alcalinidad. Los cuerpos de agua generalmente tienen un pH entre 6 y 8.

Planta convencional de purificación de aguas servidas
Sistema sofisticado de tratamiento de aguas servidas, generalmente de tres fases (tratamiento mecánico, biológico, químico). Sistemas de desperdicio de energía y materia prima.

Polución
Contaminación.

Poluente
Contaminante.

Pozo séptico
Ver tanque séptico.

Procesos aeróbicos
Procesos en el tratamiento biológico de aguas residuales que ocurren en presencia de oxígeno.

Predación
Sacrificio y consumo de un individuo de una especie por un individuo de otra especie.

Procesos anaeróbicos
Procesos en el tratamiento biológico de aguas residuales que ocurren en ausencia de oxígeno.

Pseudohormonas
Sustancias generalmente orgánicas que actúan como hormonas en el cuerpo o interfieren de otra manera con el sistema hormonal natural.

Purín
Excrementos de animales domésticos, en forma líquida (principalmente de cerdos y bovinos).

Quistes
Estados de perduración de algunas bacterias, protozoarios y otros organismos, resistentes a condiciones ambientales no favorables como temperaturas altas, sequedad y otros.

Radical
Un radical libre es un átomo, una molécula o un compuesto que contiene un electrón no apareado. Por esta característica es dañino para los organismos.

Rebalse de emergencia
Rebalse con conexión al alcantarillado, que sólo entra en función durante eventos excepcionales de precipitación que sobrepasan la capacidad del sistema de infiltración y/o retención.

Reciclaje
Uso doble o más de la misma materia prima, después de un proceso de purificación u otro, por ejemplo, reciclaje de las aguas grises como agua de servicio.

Recurso natural
Sustancia natural usada por el hombre, por ejemplo, agua, biomasa, carbón, petróleo.

Recurso renovable
Sustancia natural usada por el hombre y renovable en corto tiempo, por ejemplo, agua, biomasa.

Red sanitaria doble
Red doble de abastecimiento de agua para proveer distintas calidades del agua, por ejemplo, agua potable de la red pública y agua de servicio a partir del reciclaje de aguas grises.

Renovación de napas freáticas
Ingreso de aguas infiltradas al agua subterránea incrementando o, por lo menos, manteniendo su nivel.

Retención
Inhibición o retardación del escurrimiento por situaciones naturales (zonas de inundación a lo largo de ríos, depresiones naturales en el paisaje) o medidas artificiales (estanques, lagunas, humedales artificiales, *Rigolen*, otros).

Retretes
Sinónimo de sanitarios.

Reuso
Uso doble o más de una materia prima, sin que necesite un tratamiento.

Rigole
Zanja rellena con material filtrante (grava, cascajo, ripio, arcilla inflada, cubos plásticos con vacíos de almacenaje de agua) para infiltración, almacenamiento, retención, evacuación retardada y drenaje de aguas pluviales (ver figura 70, capítulo VII, subtítulo 3).

***Rigole* de tubo**
Rigole con tubo perforado (tubo de drenaje) ubicado en el material filtrante, por el cual el agua entra y sale del sistema (ver figura 72, capítulo VII, subtítulo 3).

Rottebehaelter
Contenedor para la separación de los sólidos de las aguas negras, en condiciones aeróbicas, para su futuro compostaje o uso en la generación de biogás (ver capítulo VI, subtítulo 2.1.; y figura 109b, capítulo VIII, subtítulo 1.1.2).

Salmonelas
Bacterias que causan enfermedades intestinales. A las salmonelas pertenecen los patógenos causantes de la fiebre tifoidea.

Saneamiento
Promoción y práctica de la higiene y prevención de enfermedad al mantener condiciones de limpieza.

Saneamiento ambiental
Comprende todas las metodologías para el saneamiento ambientalmente sostenible como los métodos ECOSAN.

Saneamiento ecológico (ECOSAN)
Enfoque sustentable para el manejo de la excreta humana que previene enfermedades, conserva y protege el agua, y recupera y recicla nutrientes.

Sanitario ecológico
Todo tipo de sanitario con depósito aislado del medio ambiente sin rebalses, que no produce contaminación y permite recuperar los excrementos como abono por proceso aeróbico (compostaje), anaeróbico (generación de biogás) o deshidratación.

Sanitario ecológico de deshidratación
Sanitario con sistema de desecación de los excrementos (ver figura 26, capítulo IV, subtítulo 4.3.).

Sanitario ecológico de compostaje = sanitario de composta = sanitario compostero
Sanitario en el cual los excrementos se transforman en compost por un proceso de descomposición aeróbica (ver figura 25, capítulo IV, subtítulo 4.3.).

Sanitario "no mix"
Sanitario que separa la orina de los residuos fecales en fuente, es decir, que no los mezcla. Ver inodoro separador.

Sanitario seco
Ver sanitario ecológico de deshidratación.

Sellado de suelos o superficies
Cobertura impermeable sobre suelos, como edificaciones, capas de asfalto, concreto u otro material.

Sinergia
Efecto originado por dos o más factores que no es la simple suma de los efectos de los factores individuales, sino un efecto mayor a esta suma.

Sistema de alcantarillado mixto
Alcantarillado que transporta aguas servidas y aguas pluviales al mismo tiempo.

Sistema de alcantarillado separado
Dos sistemas de alcantarillado que transportan en forma separada las aguas servidas y las aguas pluviales. Generalmente las aguas servidas se llevan a una planta de tratamiento, mientras las aguas pluviales se descargan directamente a un cuerpo receptor.

Sistema de desagüe modificado o calificado
Sistema de manejo separado de aguas pluviales no contaminadas, las que se infiltran o se llevan directamente a un cuerpo receptor, y aguas pluviales contaminadas, que se conectan al alcantarillado.

Sistema de vacío
Sistema de barrido de inodoros y/o alcantarillado que funciona por la formación de un vacío para el drenaje de las aguas residuales. Usa mucha menos agua para el barrido de los inodoros (ver capítulo IV, subtítulo 4.5).

Sistemas centralizados (de manejo de agua)
Sistemas conectados a una planta central de potabilización y/o de purificación de aguas. Sistema "Flujo y descarga".

Sistemas descentralizados (de manejo de agua)
Sistemas con conexiones cortas a nivel de vivienda o urbanización. Sistema nuevo de "Sanear y reciclar" = sistema cíclico cerrado.

Sostenibilidad
Mantenimiento de los procesos sin ayuda exterior.

Suelo nocturno
Residuos fecales humanos frescos recolectados para su uso como abono líquido en la agricultura, en especial en algunos países asiáticos. Se recolecta en horas nocturnas directamente de las viviendas.

Superficie compactada
Suelo compactado. Esa superficie no es tan impermeable como una superficie sellada.

Superficie sellada
Suelo cubierto por edificaciones, asfalto, cemento u otro material.

Sustancias endocrinas, sustancias endocrinológicamente activas
Sustancias que alteran o sustituyen las hormonas de secreción interna.

Sustancias persistentes
Sustancias con larga vida en el medio ambiente, su degradación es difícil.

Tanque de sedimentación de varias cámaras
Tanque para la sedimentación de sólidos de las aguas residuales, de varias cámaras para hacer el proceso de sedimentación más eficiente (ver capítulo VI, subtítulo 2.1).

Tanque estabilizador
Tanque para la sedimentación de sólidos de las aguas residuales, de varias cámaras y de mayor volumen específico para mejorar no sólo el proceso de sedimentación, sino iniciar adicionalmente un proceso de fermentación de los lodos (ver capítulo VI, subtítulo 2.1).

Tanque Imhoff
Tanque especial para la sedimentación de sólidos de las aguas residuales (ver capítulo VI, subtítulo 2.1).

Tanque séptico
Tanque que recibe las descargas de un sanitario al agua (WC), almacena los desechos sedimentables y deja rebalsar el líquido excedente. Contamina las aguas subterráneas por filtración. Los lodos almacenados se tienen que evacuar en intervalos regulares (ver capítulo VI, subtítulo 2.1).

Taza sanitaria de pedestal
Inodoro elevado para sentarse.

Termófilo
Un organismo termófilo se desarrolla a temperaturas elevadas.

Tiempo de retención
Tiempo en que el agua residual se queda en el sistema de tratamiento.

Toiletes
Sinónimo de sanitarios.

Tóxico higiénico
Sustancias tóxicas usadas en la desinfección de aguas, como el cloro.

Ultrafiltración
Separación total de partículas, bacterias y virus, usado entre otros como pretratamiento a la ósmosis inversa. En relación al tamaño de filtro, se ubica entre la nanofiltración y la microfiltración (ver figura 43, capítulo V).

Uso racional del agua
Uso del recurso agua de forma racional, es decir, minimizar, reusar y reciclar el agua al máximo.

UV
Luz ultravioleta.

Valor guía
Valor límite deseable de concentración para una sustancia en el medio ambiente. No refrendado legalmente.

Valor imperativo
Valor límite máximo de concentración para una sustancia en el medio ambiente. No refrendado legalmente.

Vermicompostaje
Proceso de compostaje con la ayuda de lombrices.

Vertiente
Fuente natural de agua.

VIP
Siglas en inglés para designar la letrina mejorada ventilada (Ventilated Improved Pit Latrine).

WC (Water Closet) = inodoro de desagüe = inodoro con tanque de agua = inodoro al agua = inodoro con barrido de agua
Inodoro convencional con barrido de agua para la evacuación de los excrementos. Sistema para transformar abono en desecho.

Zeolita
Aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 angstrom.

La escasez del agua en muchas regiones del planeta, y la pérdida de calidad de las aguas naturales por la incesante contaminación, combinadas con el crecimiento de la población mundial, hacen que la accesibilidad al agua de buena calidad sea uno de los mayores problemas de este siglo, lo que concierne a toda la humanidad, pero es más dramático en los países en desarrollo.

En los últimos diez años se ha evidenciado que los sistemas centralizados convencionales no pueden solucionar los problemas, por sus altos costos, vulnerabilidad e insostenibilidad ecológica, interrumpen los ciclos locales de agua y de nutrientes, y trasladan los problemas de contaminación en lugar de solucionarlos. Ante esta situación es crucial crear una nueva cultura de agua que sea amigable con la naturaleza y responsable con las generaciones futuras.

El libro se presenta como un compendio que integra todos los conceptos y métodos actuales para un manejo descentralizado del agua, que es la respuesta a los problemas crecientes, ofrece una visión holística del manejo de aguas, y se adecua a la falta de recursos de la mayoría de la población mundial.

La obra pretende convertirse en importante herramienta para tomadores de decisión en las entidades estatales, para las empresas de agua, para los profesionales del campo, ingenieros sanitarios y civiles, arquitectos, planificadores urbanos, limnólogos, sociólogos y la población en general, porque cada uno puede aportar a la implementación de estas metodologías en el futuro y contribuir de este modo a garantizar la sostenibilidad ecológica y económica en el manejo de aguas.

ISBN 978-99954-1-114-5