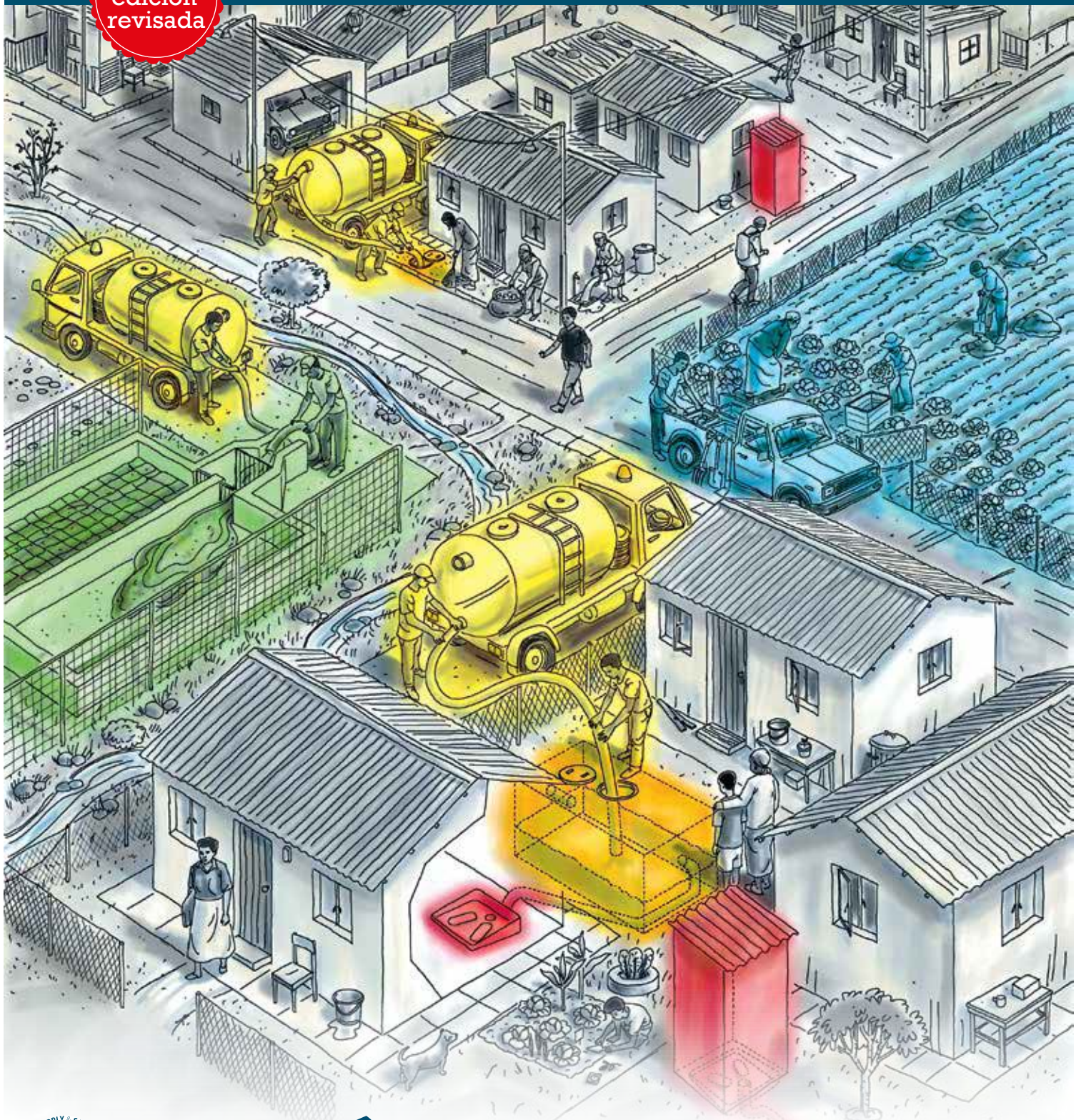


# Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento

2<sup>a</sup>  
edición  
revisada



---

# Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento

---

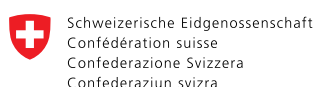
**Segunda edición revisada**

**Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi,  
Philippe Reymond, Roland Schertenleib y Christian Zurbrügg**

Nuestro especial agradecimiento a los grupos de especialistas  
de Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA)  
y a la Asociación Internacional del Agua (IWA por sus siglas en inglés).

Deseamos agradecer a las siguientes personas sus contribuciones y comentarios:  
Magalie Bassan, Chris Canaday, Pierre-Henri Dodane, Jan-Olof Drangert, Andrin Fink,  
Roman Grüter, Heino Güllemann, Heike Hoffmann, Elisabeth Kvarnström, Christian Riu Lohri,  
Antoine Morel, Peter Morgan, Eberhard Morgenroth, Elisabeth von Münch, Sara Oppenheimer,  
Jonathan Parkinson, Eddy Perez, Annette Remmele, Samuel Renggli, Christian Rieck, David Robbins,  
Anjali Sherpa, Mingma Sherpa, Hansruedi Siegrist, Dorothee Spuhler, Linda Strande, Gabor Szanto,  
Kai Udert, Björn Vinnerås, Carolien van der Voorden, Nancho Zimmermann.

Asimismo, queremos reconocer el apoyo  
de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (SDC por sus siglas en inglés)  
y el Consejo Colaborativo de Agua y Saneamiento (WSSCC por sus siglas en inglés).



Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC



Adaptación al español realizada por  
el Banco Interamericano de Desarrollo (BID)  
y Hábitat para la Humanidad.







**Christian Zurbrügg**  
Eawag



**Chris Williams**  
WSSCC



**Jonathan Parkinson**  
IWA

Sin duda, el saneamiento es un elemento clave del desarrollo sostenible e influye significativamente en la salud y el bienestar de las personas de todo el mundo. La Asociación Internacional del Agua (IWA por sus siglas en inglés), el Consejo Colaborativo de Agua y Saneamiento (WSSCC por sus siglas en inglés) y el Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag) han realizado esfuerzos considerables para promover un mejor saneamiento pues brindan una base de conocimiento y guía fácilmente accesible sobre cómo lograr estas mejoras. Al trabajar en colaboración con la Iniciativa de Saneamiento Urbano (Urban Sanitation Initiative) continuamos impulsando la innovación, diseminando información sobre toda la gama de tecnologías de saneamiento y fortaleciendo la capacidad de los profesionales que utilizan esta información.

El primer compendio producido por Eawag (a través de su Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo, conocido como Sandec) y el WSSCC en 2008 recorrió un largo camino hacia este objetivo. Proporcionó los conocimientos sobre una amplia diversidad de tecnologías de saneamiento sin sesgo o agenda y ayudó a que se reconociera mejor el hecho de que una “cadena” de saneamiento en pleno funcionamiento debe ligar los sanitarios a una planta de tratamiento, a través de un sistema de transporte y recolección operacional. También indicó que las opciones de recuperación y reutilización de recursos son un objetivo necesario para el manejo sostenible de las excretas.

En los últimos años, el compendio se ha convertido en la compilación técnica más popular del sector de saneamiento y es ampliamente reconocido por una gran audiencia como herramienta de referencia internacional. Esta segunda edición ampliada actualiza la información y presenta nuevas tecnologías, por lo cual será un recurso importante para los interesados en el proceso de planificación de toma de decisiones. La versión eCompendium permite mejorar el acceso en línea y la flexibilidad del uso de la información y facilita su actualización.

Creemos que nuestros continuos esfuerzos colectivos ayudarán a garantizar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en lo relacionado con el saneamiento, al igual que con la salud, el agua y la sostenibilidad ambiental.

---

# Contenido

---

<b>Introducción</b>	<b>7</b>
Antecedentes y público meta	7
¿Qué novedades tiene la segunda edición?	7
Estructura y uso del compendio	7
<b>Herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento</b>	<b>8</b>
<b>Terminología del compendio</b>	<b>10</b>
Sistemas de saneamiento	10
Productos	10
Grupos funcionales	12
Tecnologías de saneamiento	13
<b>Parte 1. Esquemas de sistemas</b>	<b>15</b>
<b>Uso de los esquemas de sistemas</b>	<b>16</b>
Sistema 1: Sistema de cámara simple	20
Sistema 2: Sistema de cámara sin agua ni producción de lodo	22
Sistema 3: Sistema de arrastre hidráulico sin producción de lodo	24
Sistema 4: Sistema sin agua con separador de orina	26
Sistema 5: Sistema de biogás	28
Sistema 6: Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración	30
Sistema 7: Sistema de tratamiento de aguas negras con conducción del efluente	32
Sistema 8: Sistema de conducción de aguas negras a tratamiento (semi)centralizado	34
Sistema 9: Sistema de alcantarillado con separador de orina	36
<b>Parte 2: Grupos funcionales con fichas tecnológicas</b>	<b>39</b>
<b>Lectura de las fichas tecnológicas</b>	<b>40</b>
<b>U Interfase con el usuario</b>	<b>42</b>
U.1 Sanitario seco	44
U.2 Sanitario seco con desviación de orina (SSDO)	46
U.3 Mingitorio o urinario	48
U.4 Sanitario con arrastre hidráulico	50
U.5 Sanitario de tanque	52
U.6 Sanitario de tanque con desviación de orina (UDFT)	54
<b>S Recolección y almacenamiento/tratamiento</b>	<b>56</b>
S.1 Tanque/Contenedor de orina	58
S.2 Cámara simple	60
S.3 Cámara simple mejorada ventilada (VIP)	62

S.4 Cámara doble mejorada ventilada (VIP)	64
S.5 Fosa alterna	66
S.6 Cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico	68
S.7 Cámara de deshidratación	70
S.8 Cámara de compostaje	72
S.9 Tanque (o fosa) séptica	74
S.10 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	76
S.11 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	78
S.12 Reactor de biogás	80
<b>C Conducción</b>	<b>82</b>
C.1 Bidón/tanque	84
C.2 Vaciado y transporte manual	86
C.3 Vaciado y transporte motorizado	88
C.4 Alcantarillado condominial o simplificado	90
C.5 Alcantarillado libre de sólidos	92
C.6 Alcantarillado convencional por gravedad	94
C.7 Estación de transferencia (tanque de retención subterráneo)	96
<b>T Sistema de tratamiento (semi)centralizado</b>	<b>98</b>
PRE Tecnologías de pretratamiento	100
T.1 Sedimentador	102
T.2 Tanque Imhoff	104
T.3 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	106
T.4 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	108
T.5 Laguna de estabilización	110
T.6 Laguna aireada	112
T.7 Humedal artificial de flujo superficial (HFS)	114
T.8 Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial	116
T.9 Humedal artificial de flujo vertical	118
T.10 Filtro percolador	120
T.11 Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	122
T.12 Lodos activados	124
T.13 Laguna de sedimentación/espesamiento	126
T.14 Lecho de secado sin plantas	128
T.15 Lecho de secado con plantas	130
T.16 Co-compostaje	132
T.17 Reactor de biogás	134
POST Filtración terciaria y desinfección	136
<b>D Uso y/o disposición final</b>	<b>138</b>
D.1 Relleno y cubierta/Sanihuerto o ArborLoo	140
D.2 Aplicación de la orina almacenada	142
D.3 Aplicación de las heces deshidratadas	144

D.4 Aplicación del humus y composta	146
D.5 Aplicación de lodo	148
D.6 Riego	150
D.7 Pozo de absorción	152
D.8 Lecho de infiltración	154
D.9 Laguna de acuicultura o acuicultura	156
D.10 Laguna de plantas flotantes	158
D.11 Disposición final del agua/recarga de acuíferos	160
D.12 Disposición final en superficie	162
D.13 Combustión de biogás	164
<b>Tecnologías emergentes para el saneamiento</b>	<b>166</b>
<b>Glosario</b>	<b>170</b>

### Antecedentes y público meta

El *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* fue publicado por primera vez en 2008, durante el Año Internacional del Saneamiento Ambiental. Desde entonces, ha sido traducido a varios idiomas y distribuido digitalmente por diversas organizaciones del sector. La popularidad del documento reside en su brevedad, ya que estructura y presenta una amplia gama de información sobre tecnologías probadas y comprobadas en un solo documento. Al igual que en la primera edición, aquí no se consideran tecnologías de saneamiento que estén en desarrollo o que existen sólo como prototipos. También incluimos sólo tecnologías de saneamiento “mejoradas” que proporcionan saneamiento seguro, higiénico y accesible. Igualmente, se incluye toda la gama de tecnologías urbanas, periurbanas y rurales (por ejemplo, de cámaras simples a alcantarillados convencionales).

El compendio es un documento de orientación para ingenieros y planificadores de países de ingresos medios y bajos; está destinado principalmente para ser utilizado en procesos de planificación comunicativos que involucren a las comunidades locales. También está dirigido a personas expertas en tecnologías convencionales de alto nivel que requieran información sobre infraestructura y diferentes configuraciones del sistema. No está diseñado como un documento independiente para que los ingenieros o los técnicos tomen decisiones por la comunidad (por ejemplo, toma de decisiones conducida por los expertos).

### ¿Qué novedades tiene la segunda edición?

Esta segunda edición revisada tiene más contenido y ofrece lo siguiente:

1. Una guía de usuario simplificada.
2. Fichas tecnológicas revisadas con referencias actualizadas e ilustraciones mejoradas con base en los comentarios de expertos de renombre del sector, teniendo en cuenta la evolución clave en el sector durante los últimos seis años.
3. Una presentación más elaborada de entradas y salidas de productos que aclara la compatibilidad entre tecnologías y optimiza la configuración del sistema.

4. Cinco nuevas fichas tecnológicas y una sección sobre tecnologías emergentes.

5. Se reestructuraron los esquemas de sistemas para incorporar al “sistema de biogás”.

### Estructura y uso del compendio

Al igual que la primera edición, el compendio está dividido en dos partes: 1) los **esquemas de sistemas** y una descripción sobre cómo utilizarlos, y 2) las **fichas tecnológicas**.

Se recomienda que el usuario del compendio revise primero las secciones **Terminología del compendio** (pp. 10-13) y **Uso de los esquemas de sistemas** (pp. 16-19) para que se familiarice con los términos clave y la estructura de los esquemas de sistemas y sus componentes. Después, el usuario podrá moverse entre los esquemas de sistemas y las fichas tecnológicas (que incluyen referencias cruzadas) hasta que haya identificado sistemas o tecnologías adecuadas para la investigación posterior. Finalmente, podrá desarrollar una o varias configuraciones de sistema para presentarlas a la comunidad de la zona de intervención. Por lo tanto, al seguir las sugerencias de la comunidad, el compendio puede emplearse para reevaluar y rediseñar los sistemas.

El compendio sólo es un documento que facilita la toma de decisiones con base en información de los diferentes interesados que participan en el mejoramiento de los servicios de saneamiento ambiental y debe usarse junto con otras herramientas y publicaciones disponibles. Un resumen de las herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento se incluye en la siguiente página.



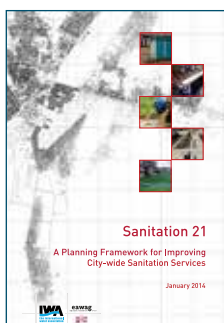
En los últimos años se han publicado varios documentos que complementan este trabajo y que se suman al cada vez mayor número de materiales de referencia y guías prácticas en tecnología sostenible. A continuación se presentan algunos de los más importantes.



### **Planificación del Saneamiento Urbano Liderado por la Comunidad: CLUES**

Lineamientos completos para tomadores de decisiones con 30 herramientas CLUES (Planificación del Saneamiento Urbano Liderado por la Comunidad, por sus siglas en inglés) presenta un conjunto completo de directrices para la planificación del saneamiento en zonas urbanas de bajos ingresos. Es el marco de planificación más actualizado para facilitar la prestación de servicios de saneamiento ambiental en comunidades urbanas y periurbanas. CLUES presenta siete pasos fáciles de seguir, que se deben llevar a cabo en orden secuencial. El paso 5 del enfoque de planificación se basa en el compendio, aplicando el enfoque de sistemas para seleccionar las opciones tecnológicas más apropiadas a un determinado contexto urbano. El documento también orienta sobre cómo fomentar un ambiente propicio para la planificación del saneamiento en zonas urbanas.

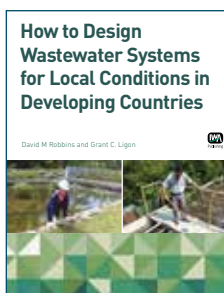
Por C. Lüthi, A. Morel, E. Tilley y L. Ulrich (2011), Eawag (Sandec), WSSCC, ONU-Habitat. Disponible de forma gratuita en: [www.sandec.ch/clues](http://www.sandec.ch/clues).



### **Saneamiento 21**

Un marco de planeación para mejorar servicios de saneamiento en ciudades *Saneamiento 21* presenta un marco de planificación reconocido a nivel internacional, basado en principios clave de planificación y en directrices recomendadas del proceso de saneamiento. Al haber sido creado con base en experiencias y mejores prácticas, *Saneamiento 21* reúne decisiones sobre tecnología y opciones de manejo con las necesidades y las preferencias de los interesados, para ayudar en la elección de los sistemas de saneamiento adecuados. Está escrito en un lenguaje no técnico, que puede ser entendido por personas profesionales y encargadas de formular políticas, interesadas en la prestación de servicios de saneamiento apropiados y asequibles, e incluye actividades recomendadas para guiar la creación de un plan de saneamiento urbano. Esta versión revisada del marco *Saneamiento 21* se basa en un mayor conocimiento y experiencia en planificación urbana.

Por J. Parkinson, C. Lüthi y D. Walther (2014), IWA, GIZ, Eawag (Sandec). Disponible de forma gratuita en: [www.iwa-network.org](http://www.iwa-network.org).



### **Cómo diseñar sistemas de aguas residuales para condiciones locales en países en desarrollo**

Este manual proporciona orientación para el diseño de sistemas de aguas residuales en países en desarrollo. Promueve un enfoque específico para el contexto de selección de tecnología, guiando al usuario en la selección de las tecnologías más adecuadas para su área. Además, brinda herramientas y guías de campo para caracterizar fuentes y evaluar sitios, así como para identificar y seleccionar tecnología. Está dirigido principalmente a proveedores de servicios del sector público y privado, reguladores e ingenieros/especialistas en desarrollo a cargo de la implementación de sistemas de aguas residuales.

Por D. M. Robbins y G. C. Ligon (2014), IWA Publishing.



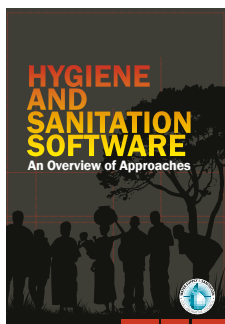
### Manejo de lodos fecales

#### Enfoque sistémico para la implementación y la operación

Este es el primer libro que compila el estado actual del conocimiento sobre manejo de lodos fecales. Aborda la organización de toda la cadena de servicio de manejo de lodos fecales, desde la recolección y el transporte de lodos, hasta el estado actual del conocimiento de las opciones de tratamiento y uso o disposición final de los lodos tratados. Presenta un enfoque integrado que reúne tecnología, manejo y planificación con base en los 20 años de experiencia de Sandec en el campo. Asimismo, analiza importantes factores que se deben considerar al evaluar y ampliar las nuevas opciones de tecnologías de tratamiento. El libro se dirige a estudiantes de pregrado y posgrado, ingenieros y profesionales en el campo con conocimientos básicos en ingeniería ambiental o de aguas residuales.

Por L. Strande, M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), IWA Publishing.

Disponible de forma gratuita en: [www.sandec.ch/fsm\\_book](http://www.sandec.ch/fsm_book).



### Software para higiene y saneamiento. Un panorama de enfoques

En la prestación de servicios y programas de higiene y saneamiento se utilizan varios métodos para involucrar a los grupos meta en programas de desarrollo que permitan cambiar la conducta o crear una demanda de servicios. Estos métodos o enfoques suelen llamarse *software* para distinguirlos del *hardware*. Esta publicación detalla los diversos enfoques de *software* en higiene y saneamiento de los últimos 40 años en todo tipo de entorno (urbano, informal-urbano y rural) y tiene por objetivo abordar temas como los siguientes: para qué se diseña un enfoque en particular, lo que comprende realmente, dónde y cuándo se debe usar, cómo debe implementarse y cuánto cuesta, etcétera. Esta publicación fue creada para acompañar al compendio.

Por A. Peal, B. Evans y C. van der Voorden (2010), WSSCC.

Disponible de forma gratuita en: [www.wsscc.org](http://www.wsscc.org).

Las siguientes herramientas en línea brindan orientación útil y recursos descargables que complementan los documentos antes mencionados.

Recursos  
adicionales  
en línea



### eCompendium

La versión digital del compendio es un recurso independiente, estructurado en torno de los diferentes sistemas de saneamiento y las 57 tecnologías destacadas. Esta versión electrónica facilita a los distintos grupos de usuarios la actualización de información y permite mayor flexibilidad en su uso. Además, es parte integral de la caja de herramientas de SSWM.

Disponible en: [www.sandec.ch/ecompendium](http://www.sandec.ch/ecompendium).



### Caja de herramientas para el saneamiento sostenible y el manejo del agua

La caja de herramientas de SSWM es la colección más completa de herramientas y enfoques en manejo del agua y saneamiento sostenible. Combina herramientas y *software* de planificación y las vincula con publicaciones, artículos y enlaces web, estudios de caso y material de capacitación.

Disponible en: [www.sswm.info](http://www.sswm.info).


### Sistemas de saneamiento


El compendio define el saneamiento como un proceso de varios pasos, en el cual las excretas humanas y las aguas residuales son gestionadas desde el punto de generación hasta el punto de uso o disposición final. Un **sistema de saneamiento** está conformado por una serie de tecnologías y servicios específicos para cada contexto, según el manejo de estos residuos (o recursos); o sea, para su recolección, almacenamiento, transporte, transformación, uso o disposición final. Un sistema de saneamiento está compuesto por **productos** (desechos) que viajan a través de **grupos funcionales**, los cuales contienen **tecnologías** que pueden seleccionarse según el contexto. **Al seleccionar una tecnología para cada producto de cada grupo funcional aplicable se puede diseñar un sistema de saneamiento lógico.** Un sistema de saneamiento también incluye la gestión, la operación y el mantenimiento (O&M) necesarios para garantizar que el sistema funcione de manera segura y sostenible. Un **esquema de sistema** (*system template*) define un conjunto de combinaciones de tecnologías compatibles del cual se puede diseñar un sistema. En la primera parte del compendio se describen nueve diferentes esquemas de sistemas de saneamiento. En la sección “Uso de los esquemas de sistemas” se ofrece una explicación detallada de cómo funcionan y cómo se utilizan.


### Productos


Los productos son materiales a los cuales también se les llama “desperdicios” o “recursos”. Algunos productos son generados directamente por los humanos (por ejemplo, la orina y las heces); otros se requieren en el funcionamiento de tecnologías (por ejemplo, agua de arrastre para mover las excretas por las alcantarillas), y otros son generados como una función del almacenamiento o tratamiento (por ejemplo, lodos).


Para diseñar un adecuado sistema de saneamiento es necesario definir todos los productos que entran (afluentes) y todos los que salen (efluentes) de cada tecnología de saneamiento en el sistema. A continuación se describen los productos mencionados en este texto.


 El **agua de arrastre** es la descargada en la interfase de usuario para transportar el contenido o limpiarlo. Tanto el agua dulce como el agua de lluvia, las aguas grises recicladas o cualquier combinación de las tres, pueden usarse como fuente de agua de arrastre.

 Las **aguas cafés** son la mezcla de heces y agua de arrastre, pero que no contienen orina. Son generadas por los sanitarios de tanque con desviación de orina (U.6) y, por lo tanto, su volumen depende del volumen de agua de arrastre empleado. La carga de patógenos y nutrientes de las heces no se reduce; sólo se diluye por el agua de arrastre. Las aguas cafés también pueden incluir agua de limpieza anal (si se usa agua para la limpieza) o materiales secos de limpieza (véase figura 1).

 Las **aguas grises** son el volumen total de agua que se genera tras bañarse o lavar alimentos, ropa y vajillas, pero no de los sanitarios. Puede contener rastros de excremento (por ejemplo, por lavar pañales) y, por lo tanto, también patógenos. Las aguas grises representan aproximadamente 65% de las aguas residuales producidas en las viviendas con sanitarios.

 El **agua de limpieza anal** es la que se utiliza para limpiarse uno mismo después de defecar u orinar y es generada por quienes usan agua en lugar de material seco para la limpieza anal. El volumen de agua usado para este tipo de limpieza generalmente oscila entre 0.5 y 3 L.

 Las **aguas negras** son la combinación de orina, heces y agua de arrastre junto con agua de limpieza anal (si se usa agua para la limpieza) o materiales secos de limpieza (véase figura 1). Las aguas negras contienen los patógenos de las heces y los nutrientes de la orina que se diluyen en el agua de arrastre.

 Las **aguas pluviales** es el término general para designar el agua de escurrimiento recolectada de techos, caminos y otras superficies antes de fluir hacia tierras más bajas. Es la porción de lluvia que no se infiltra en el suelo.


 El **biogás** es el nombre común de la mezcla de gases liberados de la digestión anaerobia. El biogás está



Figura 1: Definición de excretas, aguas cafés y aguas negras

compuesto por metano (50 a 75%), dióxido de carbono (25 a 50%) y cantidades variables de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico), vapor de agua y otros componentes. El biogás puede ser recolectado y quemado para usarse como combustible (como el propano).

La **biomasa** se refiere a plantas o animales cultivados utilizando el agua o los nutrientes que fluyen a través de un sistema de saneamiento. El término biomasa puede incluir peces, insectos, vegetales, frutos, forrajes y otros cultivos beneficiosos que es posible usar para la producción de alimentos, piensos, fibra y combustible.

La **composta**, o composta, es materia orgánica descompuesta que resulta de un proceso controlado de degradación aerobia. En este proceso biológico los microorganismos (sobre todo, bacterias y hongos) separan los componentes biodegradables de los desperdicios y producen un material café negruzco, sin olor y parecido a la tierra. Posee excelentes propiedades de acondicionamiento de suelo y un contenido variable de nutrientes. Debido a la lixiviación y la volatilización, parte de los nutrientes pueden perderse, pero el material mantiene nutrientes y materia orgánica. En general, las excretas o el lodo deben compostarse lo suficiente (de dos a cuatro meses) bajo condiciones termofílicas (55 a 60 °C) para sanitarse y que sea seguro para uso agrícola. La mayoría de cámaras de compostaje (S.8) no garantizan esta temperatura, pero suelen lograr una reducción considerable de patógenos.

El **efluente** es el término general para designar un líquido que sale de una tecnología, por lo general después de que las aguas negras o el lodo han sido objeto de separación de sólidos o de algún otro tipo de tratamiento. El efluente se origina en una tecnología de recolección y almacenamiento, o bien en un sistema de tratamiento semicentralizado. Dependiendo del tipo de tratamiento, el efluente podrá limpiarse completamente o requerir más tratamiento antes de que pueda ser usado o desechado.

Las **excretas** consisten en orina y heces que no están mezcladas con el agua de arrastre. Poseen un vo-

lumen reducido, pero concentran nutrientes y patógenos. Dependiendo de la calidad de heces, tiene una consistencia blanda o líquida.

Las **heces** se refieren al excremento (semisólido) que no está mezclado con orina o agua. Dependiendo de la dieta, cada persona produce aproximadamente 50 L por año de materia fecal. Las heces frescas contienen aproximadamente 80% de agua. De los nutrientes totales excretados, las heces contienen cerca de 12% de N, 39% de P, 26% de K y 107 a 109 de coliformes fecales en 100 mL.

Las **heces secas** son las que han sido deshidratadas hasta que se convierten en un material seco y desmenuzable. La deshidratación se lleva a cabo mediante el almacenamiento de heces en un lugar seco con buena ventilación, altas temperaturas o presencia de material absorbente. Durante la deshidratación ocurre muy poca degradación, lo que significa que las heces secas continúan siendo ricas en materia orgánica. El volumen de las heces se reduce alrededor de 75% durante la deshidratación y la mayoría de los patógenos muere. Sin embargo, existe un mínimo riesgo de que algunos organismos patógenos puedan reactivarse bajo ciertas condiciones, particularmente en ambientes húmedos.

El **humus** es el término utilizado para describir el material húmico, rico en nutrientes y mejorado higiénicamente, que se genera en las tecnologías de doble cámara (S.4-S.6) mediante desecación y degradación. Este producto, similar a la tierra, también es conocido como EcoHumus, un término acuñado por Peter Morgan en Zimbabue. Los distintos procesos de descomposición natural que se llevan a cabo en las cámaras pueden ser aerobios o anaerobios, dependiendo de la tecnología y de las condiciones de funcionamiento. La principal diferencia entre humus y la composta es que los procesos de degradación son pasivos y no están sujetos a una relación C:N ni a un suministro de oxígeno, humedad y temperatura controlado. Por lo tanto, el índice de reducción de patógenos generalmente es más lento y la calidad del producto, incluyendo su contenido de nutrientes y materia orgánica, puede variar de mane-

ra considerable. El humus puede verse muy similar a la composta y tener propiedades de suelo bien acondicionadas, aunque siga presentando patógenos.

El **lodo** es una mezcla de sólidos y líquidos que contiene sobre todo excretas y agua, en combinación con arena, arenilla, metales, basura o varios compuestos químicos. Puede hacerse una distinción entre los lodos fecales y los lodos de aguas residuales. Los lodos fecales provienen de tecnologías de saneamiento in situ, esto es, no han sido transportados a través de una alcantarilla. Pueden estar crudos o parcialmente digeridos, ser líquidos o semisólidos, y resultan de la recolección y el almacenamiento/tratamiento de excretas o aguas negras, con o sin aguas grises. Para una caracterización más detallada de los lodos fecales, consulte Strande *et al.*, 2014 (véase *Herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento*, p. 9). Los lodos de aguas residuales se originan en la recolección de aguas residuales de alcantarillas y en procesos de tratamientos semicentralizados. La composición del lodo determinará el tipo de tratamiento que se requiere y las posibilidades de uso final.

Los **materiales secos de limpieza** son sólidos utilizados para limpiarse uno mismo después de defecar u orinar (por ejemplo, papel, hojas, mazorcas de maíz, trapos o piedras). Dependiendo del sistema, los materiales secos de limpieza se pueden recolectar y desechar por separado. Aunque son muy importantes, los productos para la higiene menstrual, como las toallas sanitarias y los tampones, no se incluyen en este compendio. En general (aunque no siempre), deben ser tratados junto con los residuos sólidos generados en el hogar.

La **orina** es el líquido producido por el cuerpo para librarse de la urea y de otros productos de desperdicio. En este contexto, el producto de la orina se refiere a la orina pura que no se mezcla con agua ni heces. Dependiendo de la dieta, la orina humana recolectada de una persona durante un año (unos 300 a 550 L) contiene de 2 a 4 kg de nitrógeno. Con la excepción de algunos casos poco comunes, la orina es estéril cuando deja el cuerpo.

La **orina almacenada** es orina que ha sido hidrolizada de manera natural con el tiempo; es decir, las enzimas han convertido la urea en amoníaco y bicarbonato. La orina almacenada tiene un pH de aproximadamente 9. La mayoría de los patógenos no pueden sobrevivir con

este pH. Después de seis meses de almacenamiento el riesgo de transmisión del patógeno se reduce de modo considerable.

La palabra **orgánico** (*organics*) se refiere al material vegetal biodegradable (desperdicios orgánicos) que debe agregarse a algunas tecnologías con el fin de que funcionen correctamente (por ejemplo, cámara de compostaje, S.8). La materia orgánica degradable puede incluir, entre otros, hojas, zacates y desperdicios del mercado. Si bien otros productos en este compendio contienen materia orgánica, el término orgánico se refiere al material vegetal sin digerir.

Los **productos de pretratamiento** son materiales separados de las aguas negras, las aguas cafés, las aguas grises o los lodos, en las unidades de tratamiento preliminar, tales como rejillas, trampas de grasa o desarenadores (véase PRE, p. 100). Las sustancias como grasas, aceites y varios sólidos (por ejemplo arena, fibras y basura) pueden afectar la eficiencia del transporte o tratamiento mediante la obstrucción y el desgaste. Por lo tanto, la temprana eliminación de estas sustancias es crucial para la durabilidad de un sistema de saneamiento.

### Grupos funcionales

Un grupo funcional es un conjunto de tecnologías que posee funciones similares. Existen cinco diferentes grupos funcionales de los cuales se pueden elegir tecnologías para crear un sistema.

Los cinco grupos funcionales son:

- U Interfase con el usuario**  
(Tecnologías U.1-U.6): rojo
- S Recolección y almacenamiento/tratamiento**  
(Tecnologías S.1-S.12): naranja
- C Conducción** (Tecnologías C.1-C.7): amarillo
- T Sistema de tratamiento (semi)centralizado**  
(Tecnologías PRE, T.1-T.17, POST): verde
- D Uso y/o disposición final**  
(Tecnologías D.1-D.13): azul

Cada grupo funcional tiene asignado un color distinto; las tecnologías de un determinado grupo funcional comparten el mismo código de color para que sean fácilmente identificables. Además, a cada tecnología de un grupo funcional se le asigna un código de referencia con una sola letra y número: la letra corresponde a su grupo funcional (Por ejemplo U para interfase de usuario), y el

número, que va de menor a mayor, indica aproximadamente qué tan intensiva es la tecnología en consumo de recursos (económicos, materiales y humanos) en comparación con las otras tecnologías dentro del grupo.

**U** La **interfase con el usuario (U)** describe el tipo de sanitario, base, bandeja o mingitorio con el que el usuario entra en contacto; es la vía por la que el usuario accede al sistema de saneamiento. En muchos casos, la elección de la interfase de usuario depende de la disponibilidad de agua. Tenga en cuenta que las aguas grises y pluviales no se originan en la interfase de usuario, pero pueden tratarse junto con los productos que resultan de esta interfase.

**S** La **recolección y almacenamiento/tratamiento (S)** describe las formas de recolectar, almacenar y, a veces, tratar los productos generados en la interfase de usuario. El tratamiento proporcionado por estas tecnologías suele ser una función pasiva de almacenamiento (por ejemplo, que no requiere energía). Por lo tanto, los productos que son “tratados” por estas tecnologías a menudo requieren tratamiento posterior antes de su uso o disposición final.

**C** La **conducción (C)** describe el transporte de los productos de un grupo funcional a otro. Aunque los productos deban transferirse de diversas maneras entre grupos funcionales, la brecha más amplia e importante se produce entre la interfase de usuario o recolección y almacenamiento/tratamiento o sistema de tratamiento (semi)centralizado. Por lo tanto, para simplificar, la conducción sólo describe las tecnologías utilizadas para transportar productos entre estos grupos funcionales.

**T** El **sistema de tratamiento (semi)centralizado (T)** se refiere a las tecnologías de tratamiento que suelen ser apropiadas para grandes grupos de usuarios (esto es, aplicaciones desde el ámbito del barrio al ámbito de la ciudad). La operación, el mantenimiento y los requerimientos de energía de las tecnologías en el seno de este grupo funcional generalmente son superiores a las tecnologías de pequeña escala en el nivel S. Las tecnologías se dividen en dos grupos: las T.1 a T.12 son principalmente para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes, y las T.13 a T.17 son principalmente para el tratamiento de lodos. También se describen las tecnologías de pretratamiento y postratamiento (fichas tecnológicas PRE y POST).

**D** El **uso y/o disposición final (D)** se refiere a los métodos mediante los cuales los productos al final vuelven al medio ambiente, ya sea como recursos útiles o como materiales de riesgo reducido. Además, los productos también pueden reintegrarse al ciclo en un sistema (por ejemplo, uso de aguas grises tratadas como agua de arrastre del sanitario).

### **Tecnologías de saneamiento**

Las tecnologías de saneamiento se definen como la infraestructura, los métodos o los servicios específicos diseñados para contener y transformar los productos, o para transportarlos a otro grupo funcional. Cada una de las 57 tecnologías incluidas en este compendio se explican en las **Fichas tecnológicas (segunda parte)**. Hay entre seis y 17 diferentes tecnologías en cada uno de los cinco grupos funcionales.

Solamente se incluyen las tecnologías de saneamiento que se hayan probado y comprobado en el contexto de países de ingreso medio y bajo. Por otra parte, sólo se han incluido si se consideran “mejoradas” con respecto a la provisión de saneamiento seguro, higiénico y accesible.

En cada grupo funcional existe una amplia variedad de tecnologías de saneamiento que actualmente están en desarrollo, existen sólo como prototipo o aún no están totalmente maduras o disponibles. Algunos ejemplos de los más interesantes y prometedores desarrollos, con alto potencial de aplicación en países de ingreso medio y bajo, se explican en la sección “Tecnologías emergentes para el saneamiento” (pp. 166-168). Esperamos que algunas de estas tecnologías puedan incluirse como fichas tecnológicas en una futura edición de esta obra.

Este compendio aborda sistemas y tecnologías directamente relacionadas con las excretas, pero también se aboca al manejo de aguas grises o aguas pluviales de forma indirecta cuando pueden ser tratadas junto con las excretas. Esto explica por qué las tecnologías relacionadas con aguas grises y aguas pluviales no se describen con detalle, pero se mencionan como productos en los esquemas de sistemas. Para un resumen más completo de tecnologías y sistemas para aguas grises, consulte el siguiente recurso:

- A. Morel y S. Diener (2006), *Greywater Management in Low- and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, CH. Disponible de forma gratuita en: [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).



Un esquema de sistemas (en inglés *systems template*) define un conjunto de combinaciones de tecnologías probadas y comprobadas, a partir de las cuales se puede diseñar un sistema de saneamiento. Los esquemas de sistemas se pueden utilizar para identificar y mostrar sistemas completos que consideren el manejo de todos los flujos de productos entre la interfase de usuario y el uso/disposición final, y comparar las diferentes opciones en contextos específicos.

Esta primera parte del compendio explica con detalle cómo los esquemas de sistemas se leen y se usan, e incluye una presentación de los distintos esquemas. También describe las principales consideraciones y el tipo de aplicaciones adecuadas para cada esquema de sistemas.

El compendio incluye nueve diferentes esquemas de sistemas, que van desde los sencillos (con pocas opciones de tecnología y productos) hasta los complejos (con varias opciones de tecnología y productos). Cada esquema de sistema es distinto en cuanto al número de productos que genera y procesa. Los nueve esquemas de sistemas son los siguientes:

- Sistema 1: Sistema de cámara simple
- Sistema 2: Sistema de cámara sin agua ni producción de lodo
- Sistema 3: Sistema de arrastre hidráulico sin producción de lodo
- Sistema 4: Sistema sin agua con separador de orina
- Sistema 5: Sistema de biogás
- Sistema 6: Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración
- Sistema 7: Sistema de tratamiento de aguas negras con conducción del efluente
- Sistema 8: Sistema de conducción de aguas negras a tratamiento (semi)centralizado
- Sistema 9: Sistema de alcantarillado con separador de orina

Estos sistemas han probado su factibilidad en aplicaciones prácticas. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas, así como su propio ámbito de aplicación. No obstante, este compendio no incluye todas las tecnologías ni los sistemas asociados. En algunos casos se pueden combinar tecnologías distintas de las presentadas en este documento.

Aunque los esquemas de sistemas están predefinidos, el usuario del compendio debe seleccionar la tecnología adecuada entre las opciones que se presentan. La elección es específica para cada contexto y debe basarse en el entorno local (temperatura, precipitación, etcétera), la cultura (personas que prefieren sentarse o ponerse en cuclillas en el sanitario; lavarse o limpiarse después de usarlo, etcétera) y los recursos (humanos, financieros y materiales).



## Uso de los esquemas de sistemas

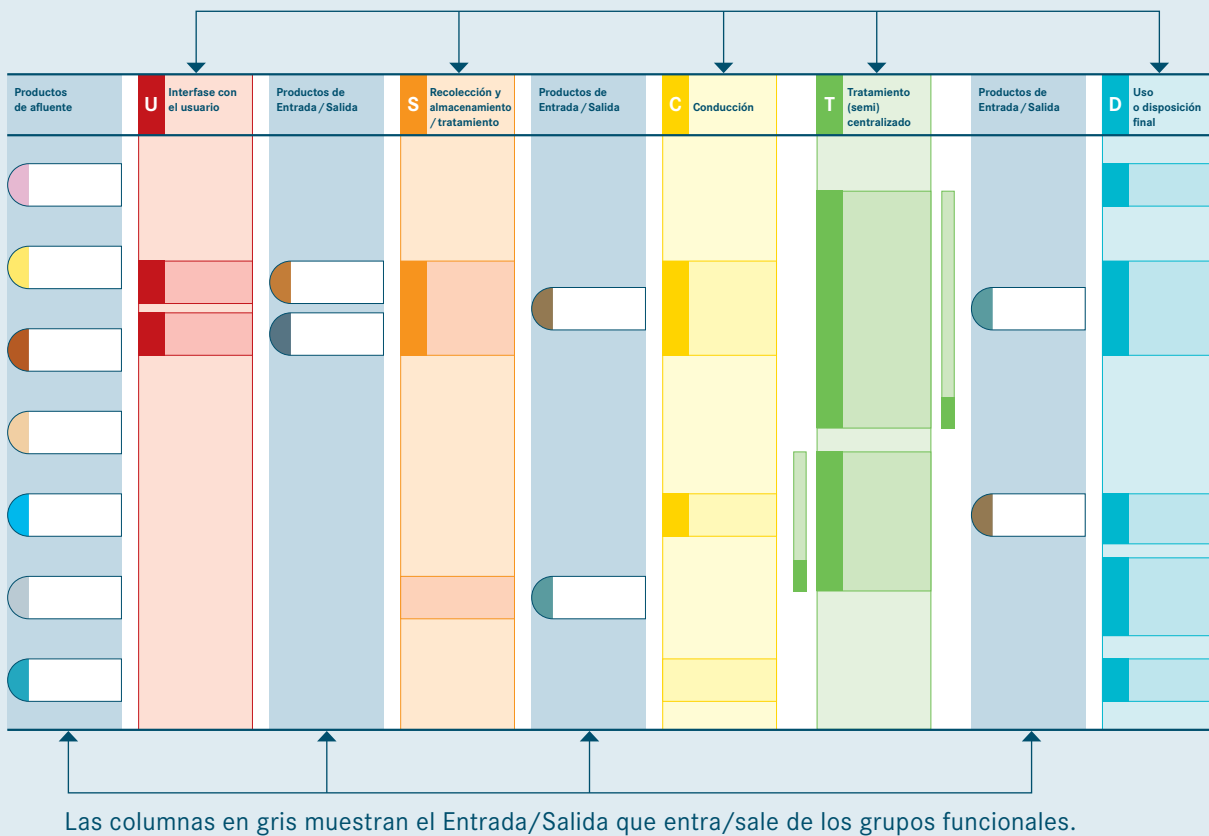
Un sistema de saneamiento puede visualizarse como una matriz de grupos funcionales (columnas) y productos (filas) que se unen donde existen posibles combinaciones. Esta representación gráfica resume los componentes tecnológicos de un sistema y todos los productos que maneja. Los productos son sucesivamente recolectados, almacenados, transportados y transformados a través de las diferentes tecnologías compatibles de los cinco grupos funcionales. El efluente de una tecnología en un grupo

funcional, por lo tanto, se convierte en el afluente del siguiente.

No siempre es necesario que un producto pase por la tecnología de cada uno de los cinco grupos funcionales; sin embargo, el orden de los grupos funcionales debería mantenerse sin importar cuántos se incluyan en el sistema de saneamiento.

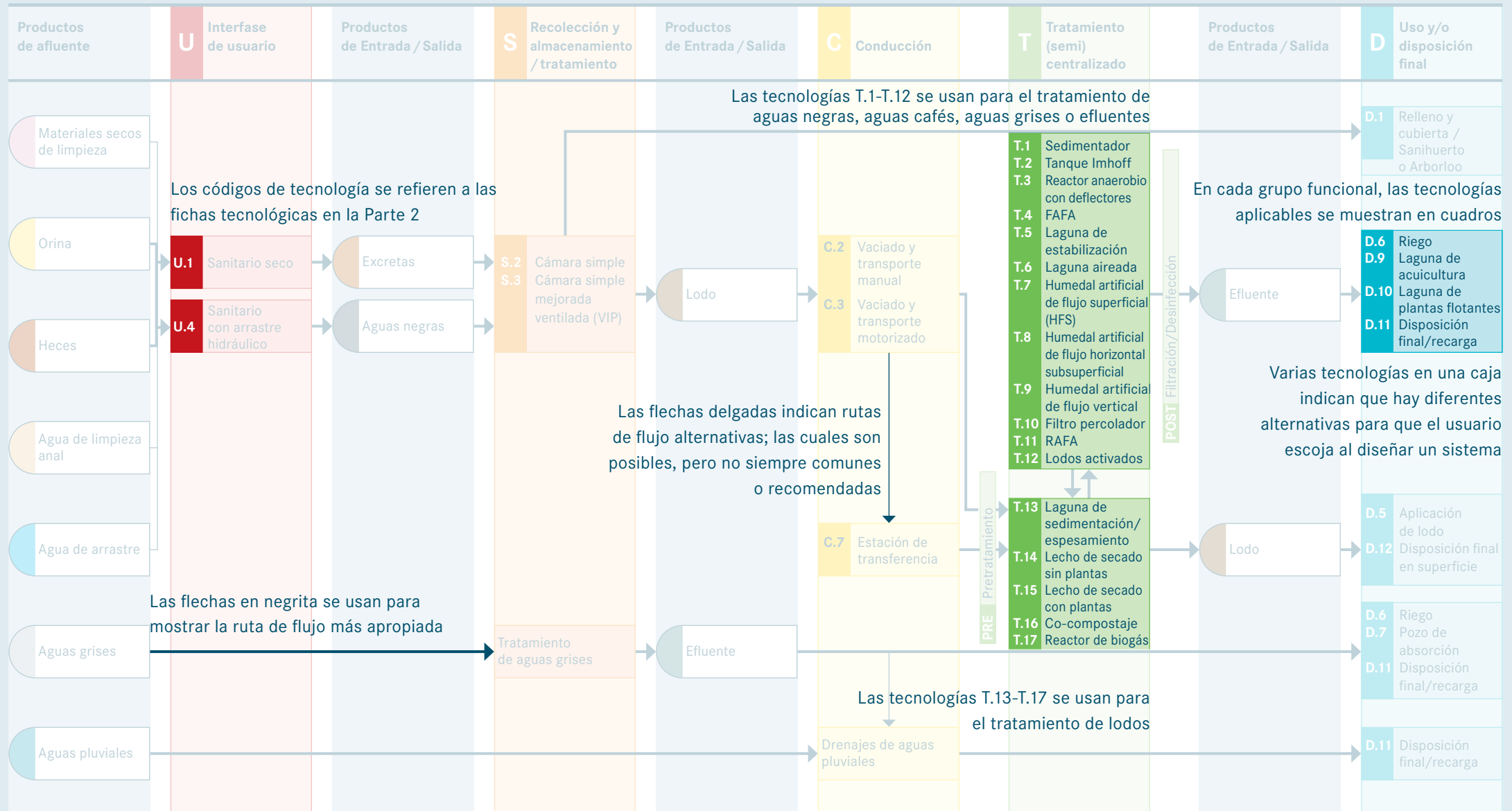
Las figuras 2 y 3 explican la estructura y los elementos de un esquema de sistema.

Las columnas codificadas por colores representan los distintos grupos funcionales.



**Figura 2:** Explicación de las distintas columnas en un esquema de sistema.

**Figura 3:** Explicación de los distintos elementos gráficos en un esquema de sistema.



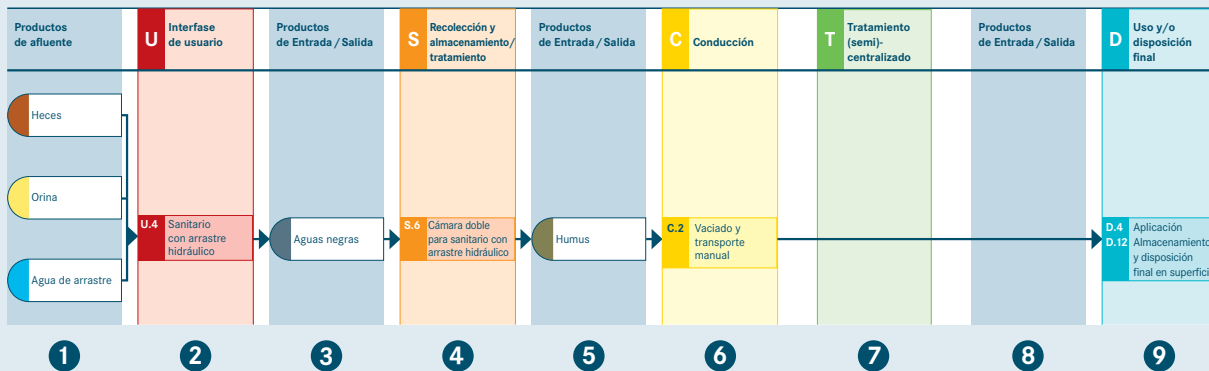


Figura 4: Ejemplo de cómo entran y se transforman los afluentes en los grupos funcionales.

La figura 4 es un ejemplo de un esquema de sistema. Muestra cómo tres productos (heces, orina y agua de arrastre) entran a un sistema y son manejados usando diferentes tecnologías de saneamiento. El siguiente texto describe cómo los productos se mueven de izquierda a derecha por las columnas 1–9 del esquema de sistema. Tres afluentes 1 (heces, orina y agua de arrastre) entran en el grupo funcional 2 “Interfase de usuario (U)” (sanitario con arrastre hidráulico). Las aguas negras generadas 3 luego entran en el grupo funcional 4 “Recolección y almacenamiento/tratamiento (S)” (cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico) y son transformadas en humus 5 mediante almacenamiento y

degradación natural. El humus entra en el grupo funcional 6 “Conducción (C)” (vaciado y transporte manual) y se salta el grupo funcional 7 “Sistema de tratamiento (semi)centralizado (T)” (ya que debería ser higiénicamente seguro, y no tener más productos 8 de afluente/efluente). Por lo tanto, es directamente transportado al grupo funcional 9 “Uso y/o disposición final (D)”, donde existen dos posibilidades. Dependiendo de las condiciones, necesidades y preferencias locales, el humus puede aplicarse como un acondicionador del suelo en la agricultura (aplicación) o llevarse a un sitio para almacenamiento temporal o disposición final (disposición final en superficie).

### Pasos para seleccionar las opciones de saneamiento mediante los esquemas de sistemas

Los nueve esquemas de sistemas presentan las combinaciones más lógicas de tecnologías. Sin embargo, las tecnologías y los vínculos asociados no son exhaustivos y los planificadores no deben perder la perspectiva racional de ingeniería para encontrar la mejor solución posible en un contexto específico. Los diseñadores deben intentar minimizar la redundancia, optimizar la infraestructura existente y usar los recursos locales, teniendo en cuenta el entorno local propicio (sobre todo, factores como habilidades y capacidades, aceptación sociocultural, recursos financieros y requisitos legales). El siguiente procedimiento puede utilizarse para preseleccionar las posibles opciones de saneamiento:

1. Identificar los productos que se generan o están disponibles localmente (por ejemplo, agua de limpieza anal, agua de arrastre y orgánicos para compostaje).
2. Identificar los esquemas de sistemas que procesan los productos definidos.
3. Para cada esquema, seleccionar una tecnología de cada grupo funcional donde haya una opción de tecnología presentada (caja con múltiples tecnologías); la serie de tecnologías conforma un sistema.
4. Comparar los sistemas y cambiar iterativamente las tecnologías individuales o usar un esquema de sistema diferente con base en prioridades del usuario, demanda de productos finales específicos (por ejemplo, composta), limitaciones económicas y factibilidad técnica.

Puede ser útil dividir la zona de planificación considerada en subáreas para que cada una tenga características y condiciones similares. Entonces se puede seguir el procedimiento para cada una de las diferentes subáreas y elegir varios sistemas.

Es posible que ya existan algunas partes de un sistema de saneamiento; en ese caso, la meta de los planificadores y los ingenieros es integrar la infraestructura o los servicios existentes, para mantener la flexibilidad, con el principal objetivo de satisfacer al usuario.

### Selección de opciones de saneamiento en el enfoque de planificación de CLUES

En Planificación del Saneamiento Urbano Liderado por la Comunidad (CLUES por sus siglas en inglés) el quinto de siete pasos es la “Identificación de opciones de servicio”. Los lineamientos de CLUES (véase *Herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento*, p. 8) describen en detalle cómo puede usarse el compendio en talleres participativos de expertos y comunitarios para seleccionar y analizar las soluciones de saneamiento apropiadas para un área ([www.sandec.ch/clues](http://www.sandec.ch/clues)).

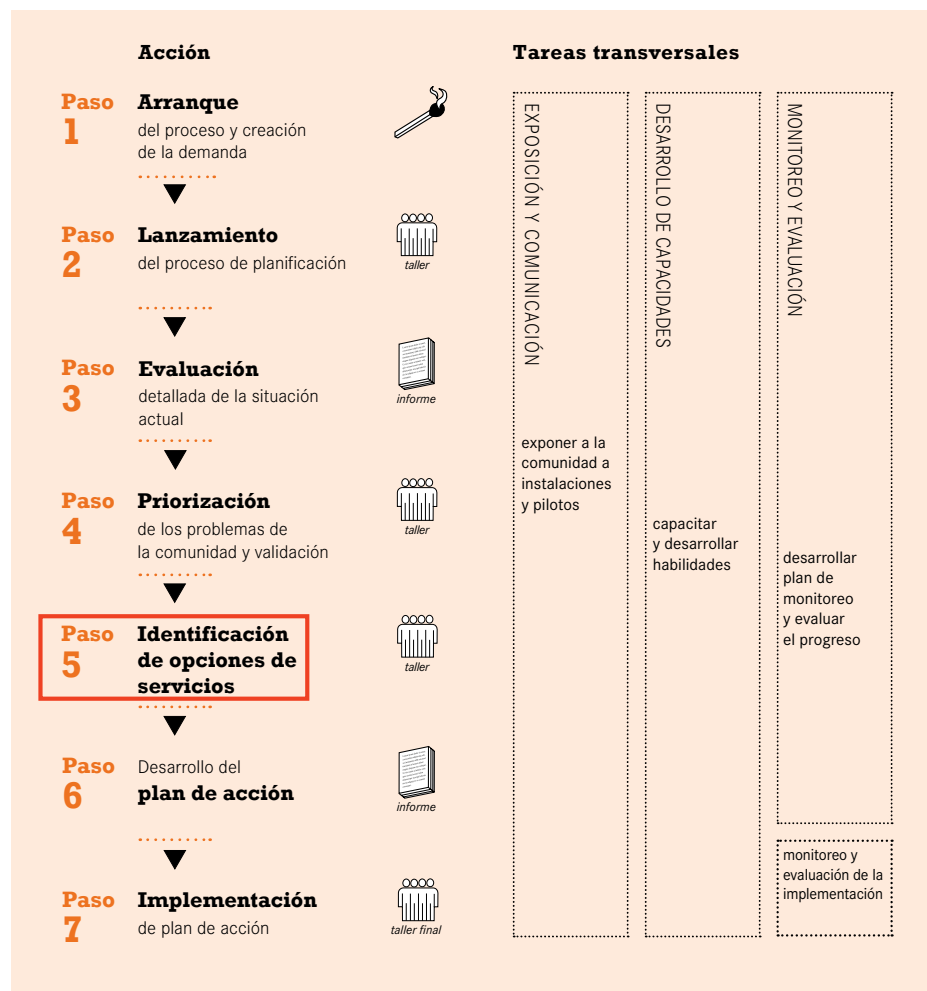
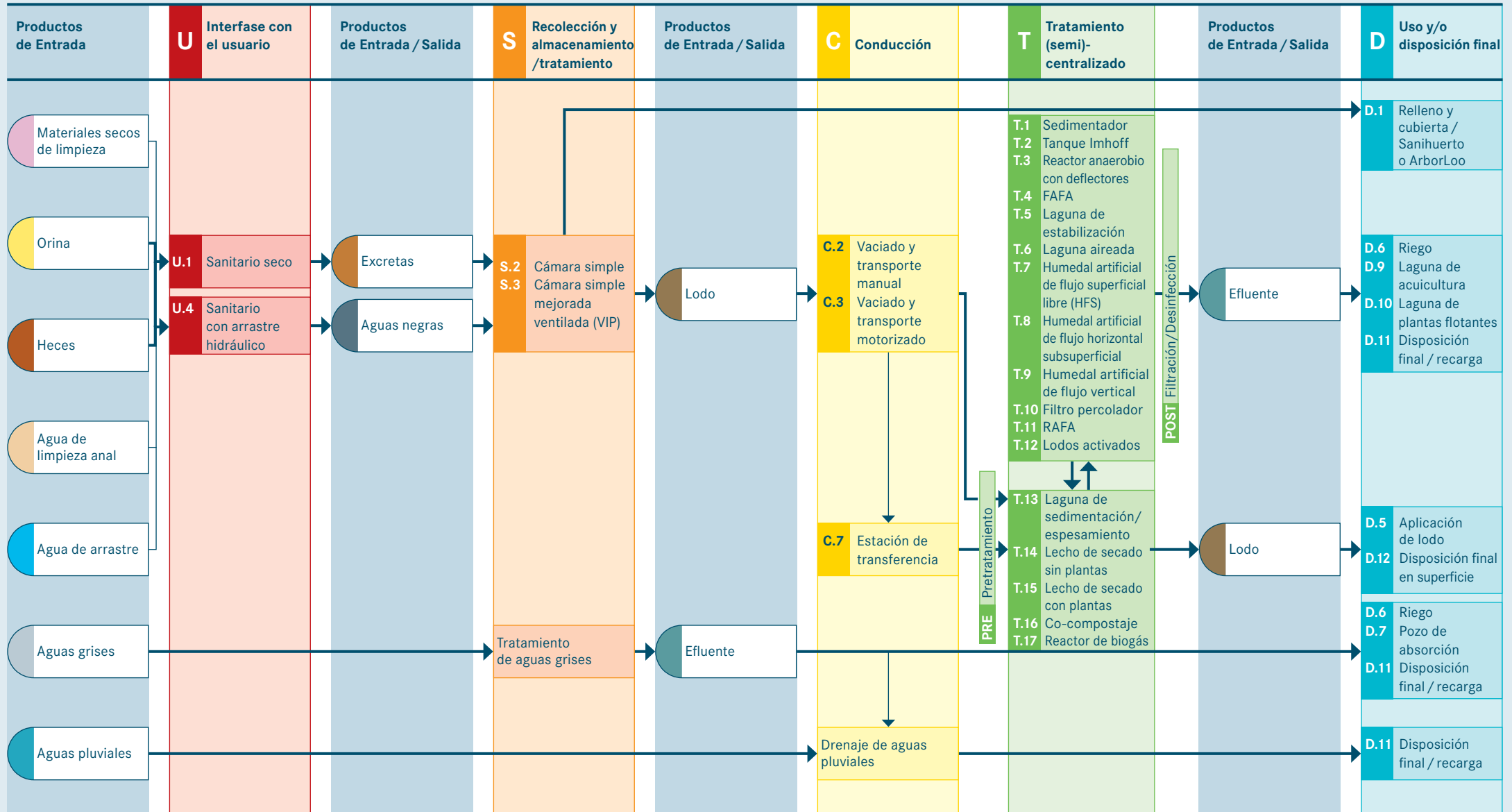


Figura 5: Los siete pasos de CLUES

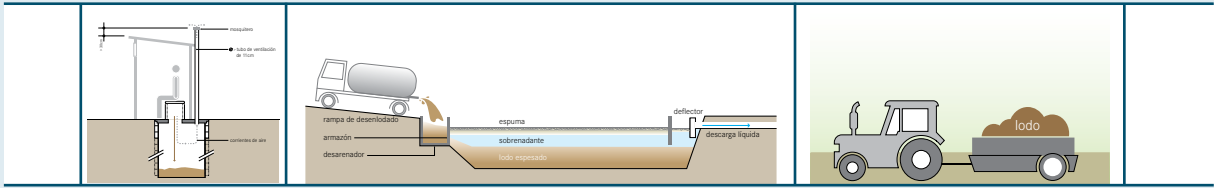
En la página [www.sandec.ch/compendium](http://www.sandec.ch/compendium) se puede descargar un esquema de sistema en blanco. Puede ser impreso y usado para esbozar sistemas de saneamiento específicos para un sitio; por ejemplo, cuando se analizan diferentes opciones con expertos u otros interesados en un taller.

También se puede descargar un esquema en formato PowerPoint que tiene elementos gráficos predefinidos (productos, tecnologías y flechas) que facilitan la elaboración de dibujos para cada sistema de saneamiento. Los nueve esquemas de sistemas se presentan y se explican en detalle en las siguientes páginas.

## Sistema de saneamiento 1: Sistema de cámara simple



## Sistema 1: Sistema de cámara simple



Este sistema se basa en el uso de tecnología de cámara simple para recolectar y almacenar las excretas. El sistema se puede utilizar con o sin agua de arrastre, dependiendo de la interfase de usuario. Los afluentes al sistema pueden incluir orina, heces, agua de limpieza anal, agua de arrastre y materiales secos de limpieza. El uso de agua de arrastre o agua de limpieza anal depende de la disponibilidad de agua y de las costumbres locales. La interfase de usuario para este sistema puede ser un sanitario seco (U.1) o un sanitario con arrastre hidráulico (U.4). También se puede utilizar un mingitorio (U.3). La interfase de usuario está directamente conectada a una cámara simple (S.2) o a una cámara simple mejorada y ventilada (VIP, S.3) para su recolección y almacenamiento/tratamiento.

Hay varias opciones para cuando se llena la cámara. Si hay espacio, ésta se puede rellenar con tierra, y se puede plantar un árbol frutal u ornamental, el cual crecerá en tierra rica en nutrientes (D1), y construir una nueva cámara. Generalmente, lo anterior sólo es posible cuando la superestructura es móvil. Otra opción es que los lodos fecales que se generan de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento pueden ser removidos y transportados para tratamiento adicional. Las tecnologías de conducción que pueden emplearse incluyen vaciado y transporte manual (C.2) o vaciado y transporte motorizado (C.3). Se puede utilizar un camión con sistema de recolección y vaciado para vaciar el lodo fecal líquido.

Como el lodo fecal sin tratamiento es altamente patógeno, deben evitarse el contacto humano y las aplicaciones agrícolas. El lodo que se remueva debe ser transportado a una planta de tratamiento dedicada a lodos fecales (T.13-T.17). Si esta planta no está fácilmente disponible, los lodos fecales podrían llevarse a una estación de transferencia (C.7). De allí podrían ser transportados a la planta por un vehículo motorizado (C.3). Strande *et al.* (véase *Herramientas de desarrollo del sector*, p. 9) brindan información sobre la selección de tecnología de redes ramificadas para plantas de tratamiento de lodos fecales. Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado producen efluentes y lodos, por lo que se podría requerir mayor tratamiento antes de su uso o disposición final. Por ejemplo, el efluente de una planta de tratamiento de lodos fecales podría ser tratado junto con las aguas residuales de una laguna de estabilización (T.5) o humedal artificial (T.7-T.9).

Las opciones para el uso o disposición final de efluentes tratados incluyen riego (D.6), acuicultura (D.9), lagunas de macrófitas (D.10) o descarga en un cuerpo de agua (disposición final de agua/recarga de acuíferos, D-11). Después del tratamiento adecuado, los lodos pueden ser usados en agricultura (D.5) o ser llevados al sitio de almacenamiento/disposición final (D.12).

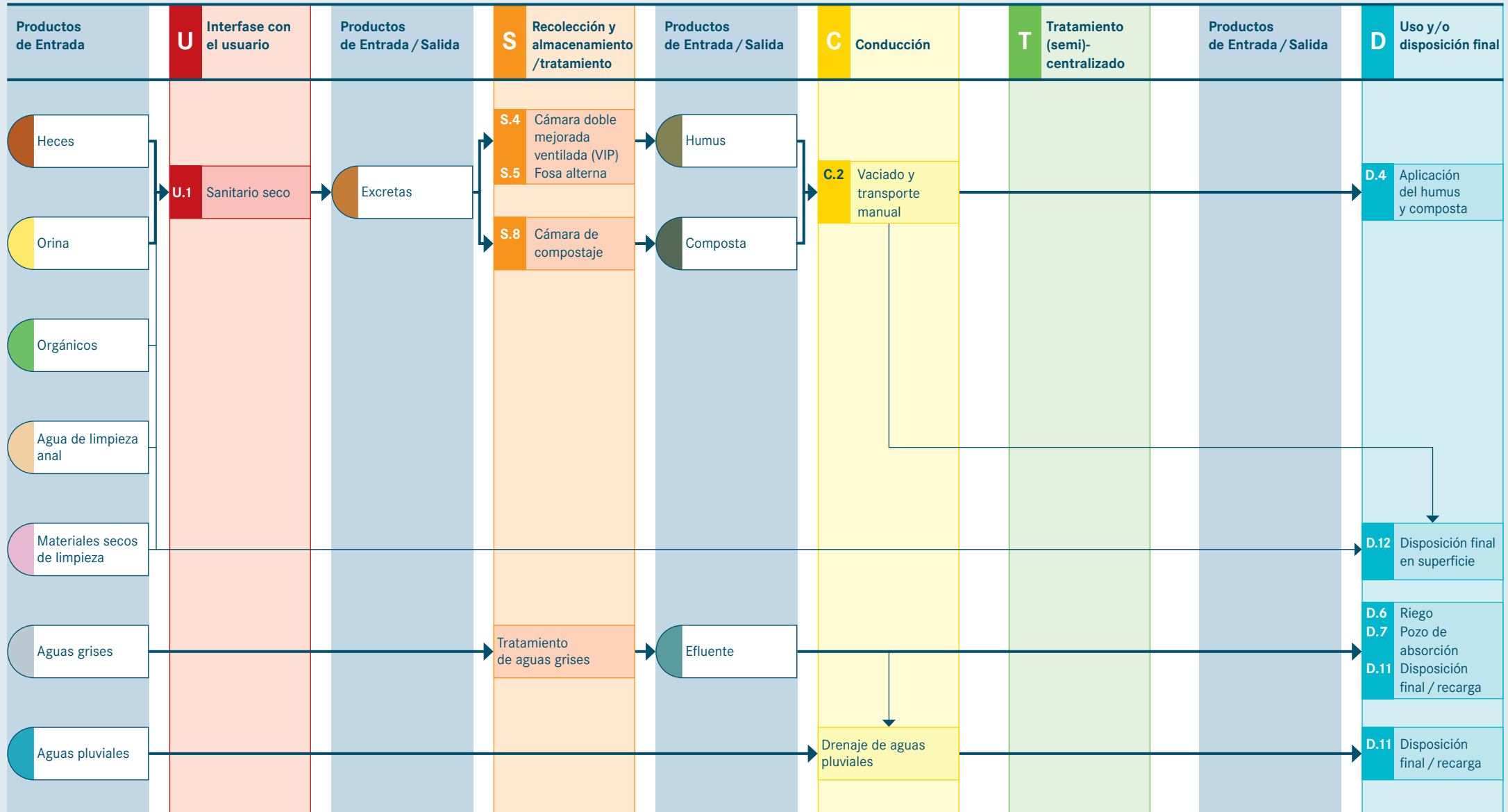
**Consideraciones** Este sistema debe elegirse sólo cuando haya suficiente espacio para cavar de manera continua cámaras nuevas o cuando haya una forma apropiada para vaciar, tratar y disponer de los lodos fecales. En asentamientos urbanos densos podría no haber espacio suficiente para acceder a una cámara para desenlodado o para hacer una nueva. Por lo tanto, este sistema es más adecuado para zonas rurales o periurbanas, donde el suelo es apropiado para cavar cámaras y absorber el lixiviado. No se recomienda para áreas propensas a lluvias fuertes o inundaciones, ya que las cámaras podrían desbordarse.

Algunas aguas grises en la cámara pueden ayudar a la degradación, pero cantidades excesivas de estas aguas podrían conducir a un rápido llenado de la cámara o a una lixiviación excesiva. Todo tipo de materiales secos de limpieza puede ser desechado en la cámara, aunque esto acorta su vida útil de y dificulta su vaciado. En la medida de lo posible, la disposición final de los materiales secos de limpieza debe hacerse por separado.

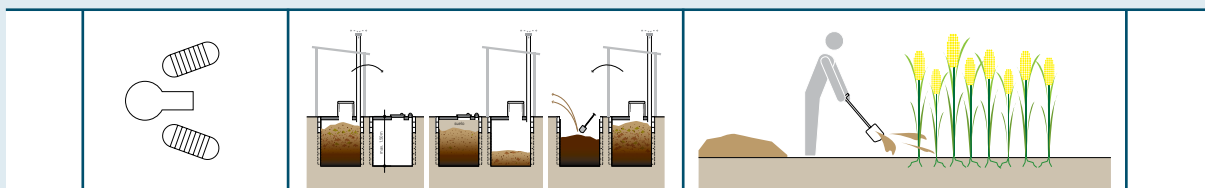
Este sistema es uno de los menos costosos de construir en términos de capital. Sin embargo, los costos de mantenimiento pueden ser considerables, dependiendo de la frecuencia y el método de vaciado de la cámara. Si el suelo es apropiado y tiene buena capacidad de absorción, se puede cavar una cámara muy profunda (> 5 m) y puede usarse durante varios años sin vaciarla (20 o más). Sin embargo, se debe tener en cuenta el nivel de los acuíferos y el uso al cavar las cámaras, para evitar contaminarlas. Aunque distintos tipos de cámaras son comunes en la mayor parte del mundo, es difícil encontrar un sistema bien diseñado, con transporte, tratamiento y uso/disposición final adecuados.

Los lineamientos para el uso seguro de lodos han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.

## Sistema de saneamiento 2: Sistema de cámara sin agua ni producción de lodo



## Sistema 2: Sistema de cámara sin agua ni producción de lodo



Este sistema está diseñado para producir un material sólido similar a la tierra mediante el uso de cámaras alternas o de una cámara de compostaje (S.8). Los afluentes al sistema pueden incluir orina, heces, orgánicos, agua de limpieza anal y materiales secos de limpieza. No se usa agua de arrastre.

Un sanitario seco (U.1) es la interfase de usuario recomendada para este sistema, aunque un sanitario seco con desviación de orina (SSDO, U.2) o un mingitorio (U.3) también podrían utilizarse si se valora que la orina será aplicada. Un sanitario seco no requiere agua para funcionar y, de hecho, no se debe poner agua en este sistema; el agua de limpieza anal debe mantenerse al mínimo, o excluirse, si es posible.

La interfase de usuario está directamente conectada a la cámara doble mejorada ventilada (S.4), a la fosa alterna (S.5) o a una cámara de compostaje (S.8) para recolección y almacenamiento/tratamiento.

Dos cámaras alternas, como en una cámara doble mejorada ventilada (VIP) o en una fosa alterna, proporcionan al material una oportunidad de drenar, degradar y transformar en humus un material rico en nutrientes, higiénicamente mejorado y húmico que es seguro para excavar. Cuando la primera cámara esté llena, será cubierta y estará temporalmente fuera de servicio. Mientras la otra cámara se llena con excretas (y, quizás, con orgánicos), el contenido de la primera cámara descansará y se degradará. Cuando ambas cámaras estén llenas, se vaciará la primera y se reanudará su uso. Este ciclo puede repetirse indefinidamente. Dado que las excretas en reposo en la cámara se drenan y se degradan al menos durante un año, el humus resultante debe eliminarse de forma manual usando palas, y no es necesario un camión de vaciado para las cámaras.

Una cámara de compostaje no es estrictamente una tecnología de cámara, pero también puede tener cámaras alternas y, si funciona correctamente, producir abono seguro y utilizable. Por estas razones se incluye en este esquema de sistema.

El humus o composta que se genera de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento puede ser removido y transportado para su uso y/o disposición final de forma manual, utilizando vaciado y transporte manual (C.2). Dado que ha pasado por una degradación significativa, el material húmico es bastante seguro de manejar y de usar como acondicionador del suelo en agricultura (D.4). Si preocupa la calidad del humus o composta, éste puede compostarse de nuevo en una planta de compostaje antes de su uso. Si el producto no

tiene utilidad, puede ser temporalmente almacenado o desechado de manera permanente (D.12).

El producto generado a nivel de recolección y de almacenamiento/tratamiento en este sistema es distinto al del sistema 1 (sistema de cámara simple). En el sistema anterior, el lodo requiere más tratamiento antes de poder ser utilizado, mientras que el humus y composta producido en este sistema está listo para su uso y/o disposición final después de su recolección y almacenamiento/tratamiento.

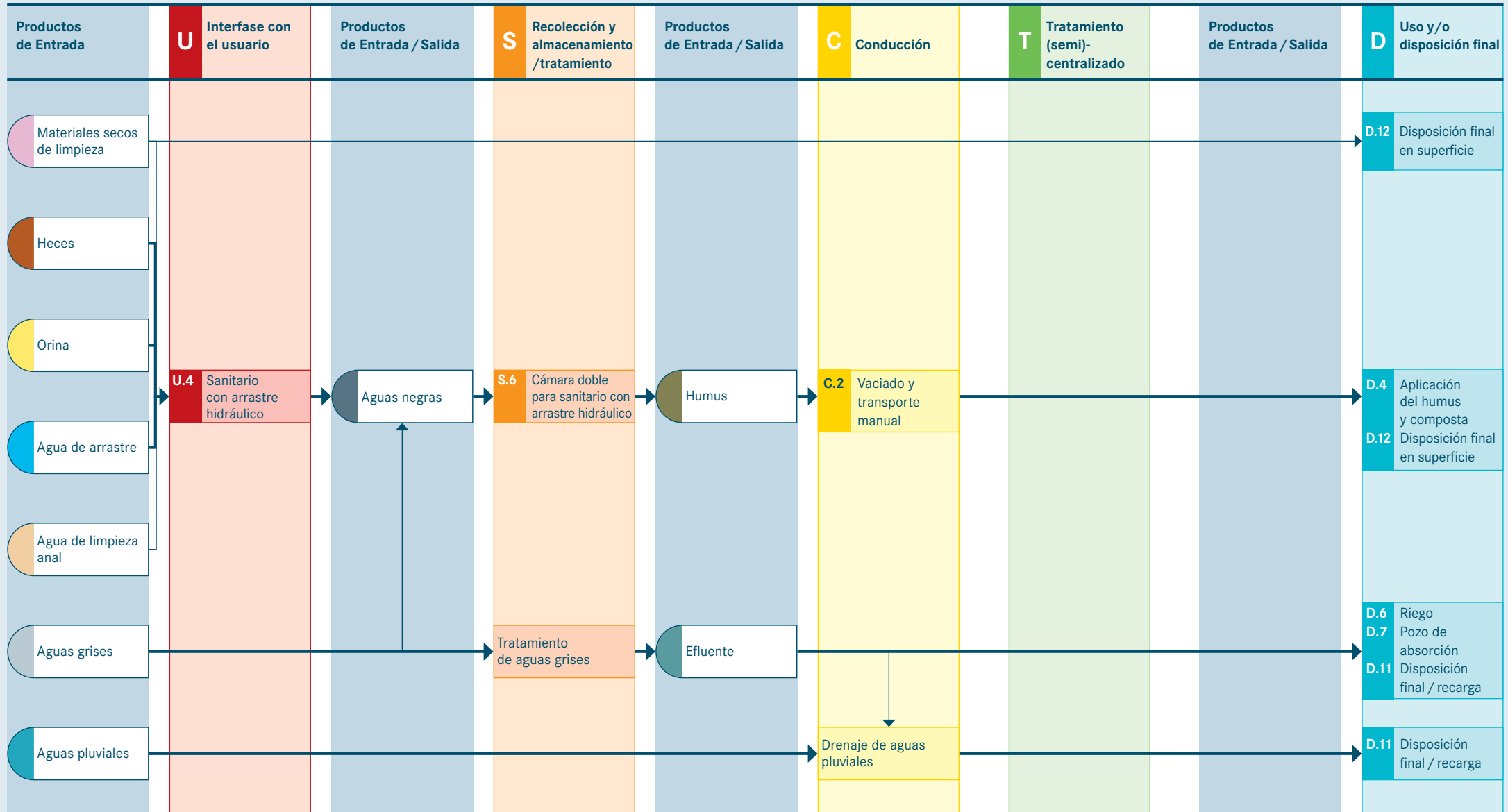
**Consideraciones** Debido a que el sistema es permanente y puede utilizarse indefinidamente (a diferencia de algunas cámaras simples, que pueden ser llenadas y cubiertas), puede usarse donde el espacio es limitado. Además, dado que el producto debe removerse manualmente, este sistema es adecuado para áreas densas donde no puedan acceder camiones para el vaciado mecánico (C.3). Este sistema es especialmente adecuado para áreas con escasez de agua donde haya oportunidad de usar el producto húmico como acondicionador del suelo. El material que se remueve debería ser seguro y utilizable, aunque se recomienda utilizar una adecuada protección personal al removerlo, transportarlo o usarlo.

El éxito de este sistema depende de una apropiada operación y de un periodo de almacenamiento prolongado. Si una fuente adecuada y continua de suelo, ceniza u orgánicos (hojas, hierba cortada, hojas de coco o arroz, astillas, etcétera) está disponible, el proceso de descomposición mejora y puede reducirse el periodo de almacenamiento. El tiempo de almacenamiento requerido puede ser minimizado si el material en la cámara permanece bien aireado y no demasiado húmedo. Por lo tanto, las aguas grises deben ser recolectadas y tratadas por separado. Excesiva humedad en la cámara llenará los vacíos de aire y privará a los microorganismos de oxígeno, lo cual podría afectar el proceso de degradación. Los materiales secos de limpieza generalmente pueden ser recolectados en la cámara junto con las excretas, sobre todo si son ricos en carbono (por ejemplo, papel higiénico, papel periódico, mazorcas de maíz, etcétera), ya que esto puede ayudar a la degradación y al flujo de aire.

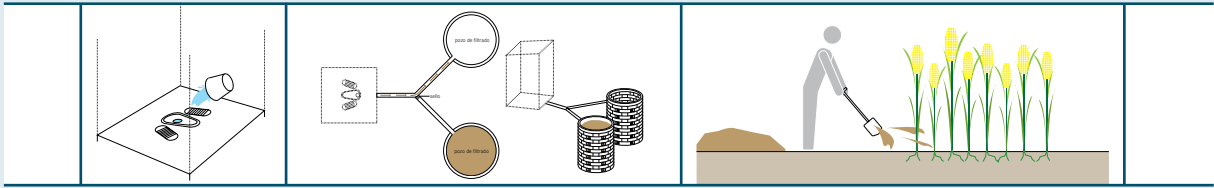
Los lineamientos para el uso seguro de excretas han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.



## Sistema de saneamiento 3: Sistema de arrastre hidráulico sin producción de lodo



## Sistema 3: Sistema de arrastre hidráulico sin producción de lodo



Este es un sistema basado en agua que usa sanitario con arrastre hidráulico (pedestal o inodoro, U.4) y doble cámara (S.6) para generar un producto parcialmente digerido y parecido al humus que puede usarse como acondicionador del suelo. Si no hay disponibilidad de agua, refiérase a los sistemas 1, 2 y 4. Los afluentes del sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises. La tecnología de interfase de usuario para este sistema es un sanitario con arrastre hidráulico (U.4). También se puede usar un mingitorio (U.3).

El efluente de aguas negras de la interfase de usuario, y quizás de aguas grises, se descarga en una cámara doble de sanitario con arrastre hidráulico (S.6) para su recolección y almacenamiento/tratamiento. Las cámaras dobles se forran con un material poroso que permite que el líquido se filtre en el suelo mientras los sólidos se acumulan y se degradan en el fondo de la cámara. Mientras una cámara se llena con aguas negras, la otra permanece fuera de servicio. Cuando la primera cámara se llena, ésta se cubre y se deja temporalmente fuera de servicio. Llenar una cámara debería tardar al menos dos años. Cuando se llene la segunda cámara, la primera se reabrirá y se vaciará.

El humus tiene propiedades adecuadas de acondicionamiento del suelo y puede ser aplicado en la agricultura (D.4). Si preocupa la calidad del humus o composta, éste puede compostarse de nuevo en una planta de compostaje antes de su uso. Si el producto no tiene utilidad, puede ser temporalmente almacenado o desechado de manera permanente (D.12).

**Consideraciones** Este sistema es apropiado para zonas rurales y periurbanas con suelos que puedan absorber el lixiviado de manera adecuada y continua. No es apropiado para áreas con suelos arcillosos o tierra demasiado compacta. Dado que el lixiviado de cámaras dobles se filtra directamente en el suelo que los rodea, este sistema deberá ser instalado sólo donde los acuíferos no estén en riesgo de ser contaminados por los cámaras. Si hay inundaciones frecuentes o si los acuíferos están muy altos y entran a la cámara doble, el proceso de desecación, particularmente en la cámara de descanso, será obstaculizado. El material que se remue-

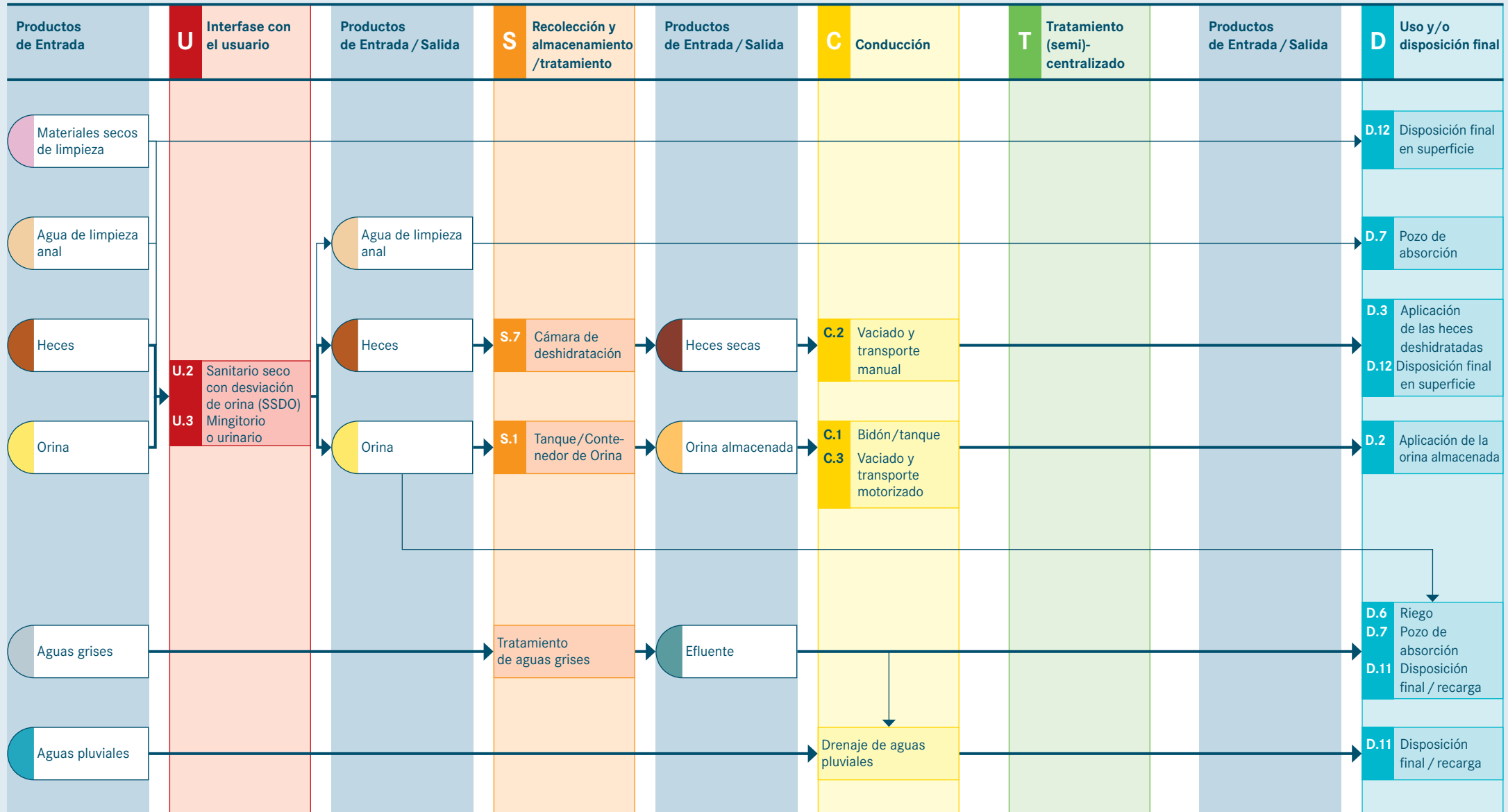
ve debería ser seguro y utilizable, aunque se recomienda utilizar una adecuada protección personal al removerlo, transportarlo o usarlo.

Las aguas grises podrían manejarse junto con las aguas negras en las cámaras dobles, sobre todo si las cantidades de aguas grises son relativamente pequeñas y no hay otro sistema de manejo para controlarlas. No obstante, grandes cantidades de agua de arrastre o aguas grises pueden causar lixiviación excesiva de la cámara y contaminar los acuíferos.

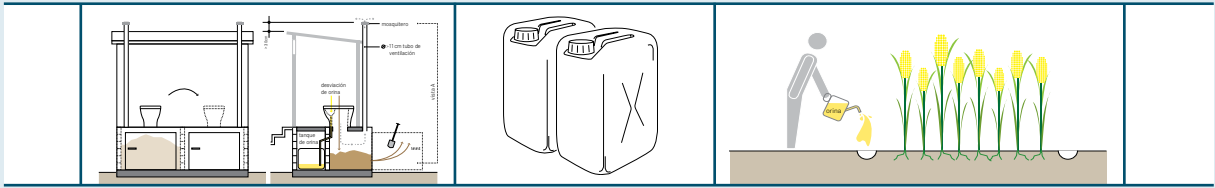
Este sistema es adecuado para la limpieza anal con agua. Si es posible, los materiales secos de limpieza deben ser recolectados y desechados por separado (D.12), porque podrían obstruir las tuberías y evitar que el líquido dentro de la cámara se filtre hacia el suelo.

Los lineamientos para el uso seguro de excretas han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.

## Sistema de saneamiento 4: Sistema sin agua con separador de orina



## Sistema 4: Sistema sin agua con separador de orina



Este sistema está diseñado para separar la orina y las heces con el fin de deshidratar estas últimas o recuperar la primera para su uso. Los afluentes al sistema pueden incluir heces, orina, agua de limpieza anal y materiales secos de limpieza.

La principal tecnología de interfase de usuario de este sistema es el sanitario seco con desviación de orina (SSDO, U.2), que permite recolectar por separado la orina y las heces. Además, se puede instalar un mingitorio (U.3) para la efectiva recolección de orina. Existen diferentes diseños de SSDO según se prefiera (por ejemplo, modelos con un tercer desvío para agua de limpieza anal).

Las cámaras de deshidratación (S.7) se emplean para la recolección y el almacenamiento/tratamiento de heces. Cuando se almacenen las heces en cámaras deben mantenerse lo más secas posible para promover la deshidratación y la reducción de patógenos. Por lo tanto, las cámaras tienen que ser resistentes al agua y se deben tomar medidas para garantizar que el agua no entre en ellas. El agua de limpieza anal nunca debe ponerse en cámaras de deshidratación, pero puede separarse y descargarse en un pozo de absorción (D.7). También es importante garantizar un constante suministro de ceniza, cal, tierra o aserrín para cubrir las heces. Esto ayuda a absorber la humedad, minimizar olores y proveer una barrera entre las heces y los posibles vectores (moscas). Si se emplea ceniza o cal, el aumento en pH también ayudará a eliminar organismos patógenos.

Para la recolección y el almacenamiento/tratamiento de orina se utilizan tanques de almacenamiento (S.1). Alternativamente, la orina también puede ser desviada de manera directa al suelo mediante un sistema de riego (D.6) o infiltrarse por medio de un pozo de absorción (D.7). La orina almacenada puede ser fácilmente manejada y presenta pocos riesgos, al ser prácticamente estéril. Debido a su alto contenido de nutrientes, puede usarse como fertilizante líquido. La orina almacenada puede ser transportada para su aplicación en agricultura (D.2) mediante bidones o tanques (C.1), o por medio de tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.3) —de la misma forma en que el agua a granel o el lodo se transporta a los campos—.

Se requiere vaciado y transporte manual (C.2) para remover y conducir las heces secas generadas por las cámaras de deshidratación. El uso alternativo de las cá-

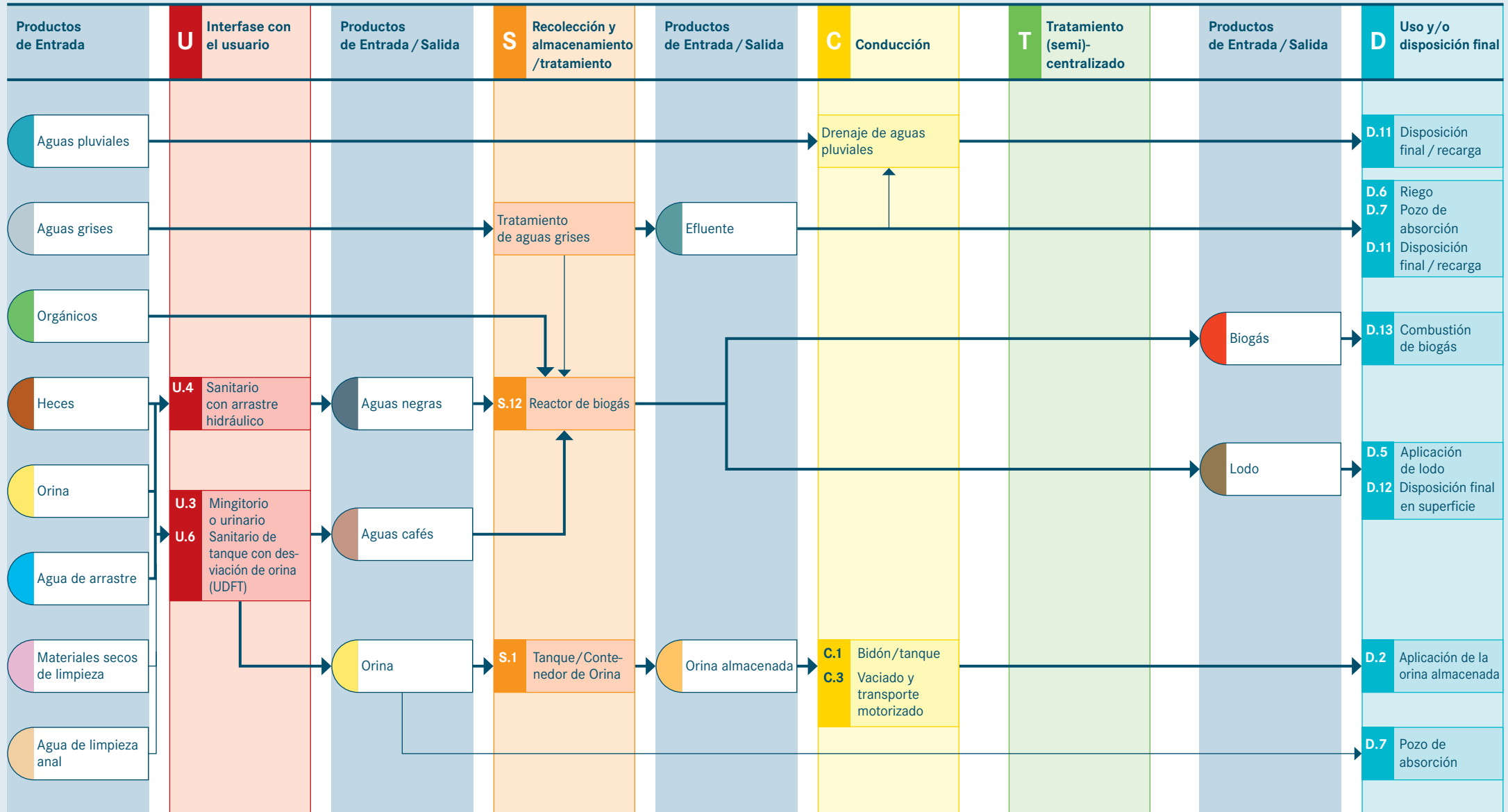
maras de deshidratación doble permite un mayor periodo de deshidratación para que las heces secas presenten poco riesgo para la salud humana cuando se eliminan. Se recomienda un mínimo de seis meses de almacenamiento cuando se utilice ceniza o cal como material de cubierta. Entonces las heces secas pueden aplicarse como acondicionador del suelo (D.3). Si preocupa la calidad del material, éste puede compostarse de nuevo en una planta de compostaje antes de su uso. Si el producto no tiene utilidad, puede ser temporalmente almacenado o desechado de manera permanente (D.12).

**Consideraciones** Este sistema puede utilizarse en cualquier lugar, pero es más adecuado para zonas rocosas donde cavar sea difícil, donde haya una capa freática alta, o en regiones con escasez de agua. El éxito de este sistema depende de la eficiente separación de la orina y las heces, así como del uso de un material de cubierta adecuado. Un clima seco y caliente también puede contribuir considerablemente a la rápida deshidratación de las heces.

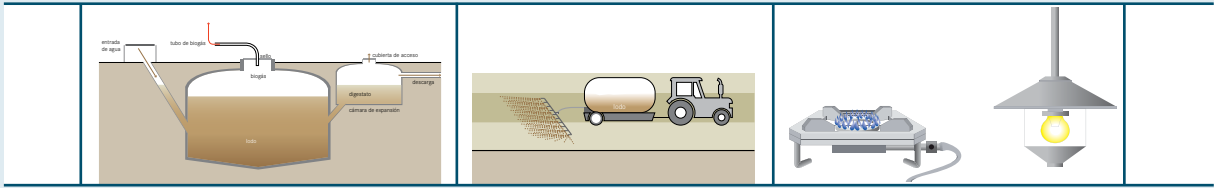
El material que se remueve debería ser seguro y utilizable, aunque se recomienda emplear una adecuada protección personal al removerlo, transportarlo o usarlo.

Asimismo, es necesario utilizar un sistema separado de aguas grises, ya que éstas no deben introducirse en la cámara de deshidratación. Si no hay una necesidad agrícola o una aceptación de uso, la orina puede infiltrarse directamente en la tierra o en un pozo de absorción. Cuando no haya proveedores de pedestales o lozas de SSDO prefabricados, éstos se podrían manufacturar localmente usando los materiales que haya disponibles. Es posible usar cualquier tipo de material seco de limpieza, aunque es mejor recolectarlo por separado, ya que no se descompondrá en las cámaras y abarcará espacio. El agua de limpieza anal debe separarse de las heces, pero puede estar mezclada con orina si se transfiere a un pozo de absorción. Si se usa la orina en agricultura, el agua de limpieza anal debe separarse e infiltrarse localmente, o tratarse junto con las aguas grises. Los lineamientos para el uso seguro de heces y orina han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.

## Sistema de saneamiento 5: Sistema de biogás



## Sistema 5: Sistema de biogás



Este sistema se basa en el uso de un reactor de biogás (S.12) para recolectar, almacenar y tratar las excretas. Además, el reactor produce biogás que puede ser quemado para cocinar, iluminar o generar electricidad. Los afluentes del sistema pueden incluir orina, heces, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza, orgánicos (por ejemplo, desperdicios de mercado o cocina) y, si están disponibles, desperdicios animales.

Además, incluye dos diferentes tecnologías de interfase de usuario: un sanitario con arrastre hidráulico (U.4) o, si hay demanda para emplear orina en agricultura, un sanitario de tanque con desviación de orina (U.6). Asimismo, se podría usar un mingitorio (U.3). La interfase de usuario está directamente conectada a un reactor de biogás (S.12, también conocido como digestor anaerobio) para la recolección y el almacenamiento/tratamiento. Si está instalado un sanitario de tanque con desviación de orina (o un mingitorio), éste se conectará a un tanque de almacenamiento (S.1) para la recolección de orina.

Dependiendo de la carga y el diseño del reactor de biogás, descargará material digerido fino o grueso (lodo) de manera continua. Debido al alto volumen y al peso del material generado, el lodo debe ser utilizado en el sitio. En algunas circunstancias, un material digerido muy delgado puede ser descargado en una alcantarilla (aunque esto no se muestra en los esquemas de sistema de este compendio).

Si bien el lodo ha pasado por una digestión anaerobia, no está libre de patógenos y debe usarse con precaución, sobre todo si no se le dará otro tratamiento. Dependiendo de cómo se utilice, podría requerir tratamiento adicional (por ejemplo, en lechos de secado con plantas, T.15) antes de su aplicación. Es un fertilizante adecuado y rico en nutrientes que puede ser aplicado en agricultura (D.5) o ser transportado a un sitio de almacenamiento o disposición final en superficie (D.12). El biogás producido debe ser usado de manera constante; por ejemplo, como combustible limpio para cocinar o para iluminación (D.13). Si el gas no se quema, se acumulará en el tanque y, al aumentar la presión, el material digerido saldrá expulsado hasta que el biogás escape en la atmósfera por la salida de material digerido.

Un reactor de biogás puede funcionar con o sin orina. La ventaja de separar la orina del reactor es que puede ser utilizada por separado como fuente concentrada de nutrientes sin contaminación por patógenos. La orina

recolectada en el tanque de almacenamiento debería aplicarse en los campos de la localidad (D.2). La orina almacenada puede transportarse en bidones o tanques (C.1), o mediante el uso de tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.3).

**Consideraciones** Este sistema se adapta mejor a zonas periurbanas y rurales donde hay espacio adecuado, una fuente regular de sustrato orgánico para el reactor de biogás y un uso para el material digerido y el biogás. El reactor puede ser construido bajo tierra (por ejemplo, bajo tierras agrícolas y, en algunos casos, bajo caminos) y, por lo tanto, no requiere mucho espacio. Aunque se podría construir un reactor en un área urbana densa, la adecuada gestión del lodo es fundamental y necesita atención específica. Dado que la producción de material digerido es continua, debe planearse su uso durante todo el año o su transporte fuera del sitio.

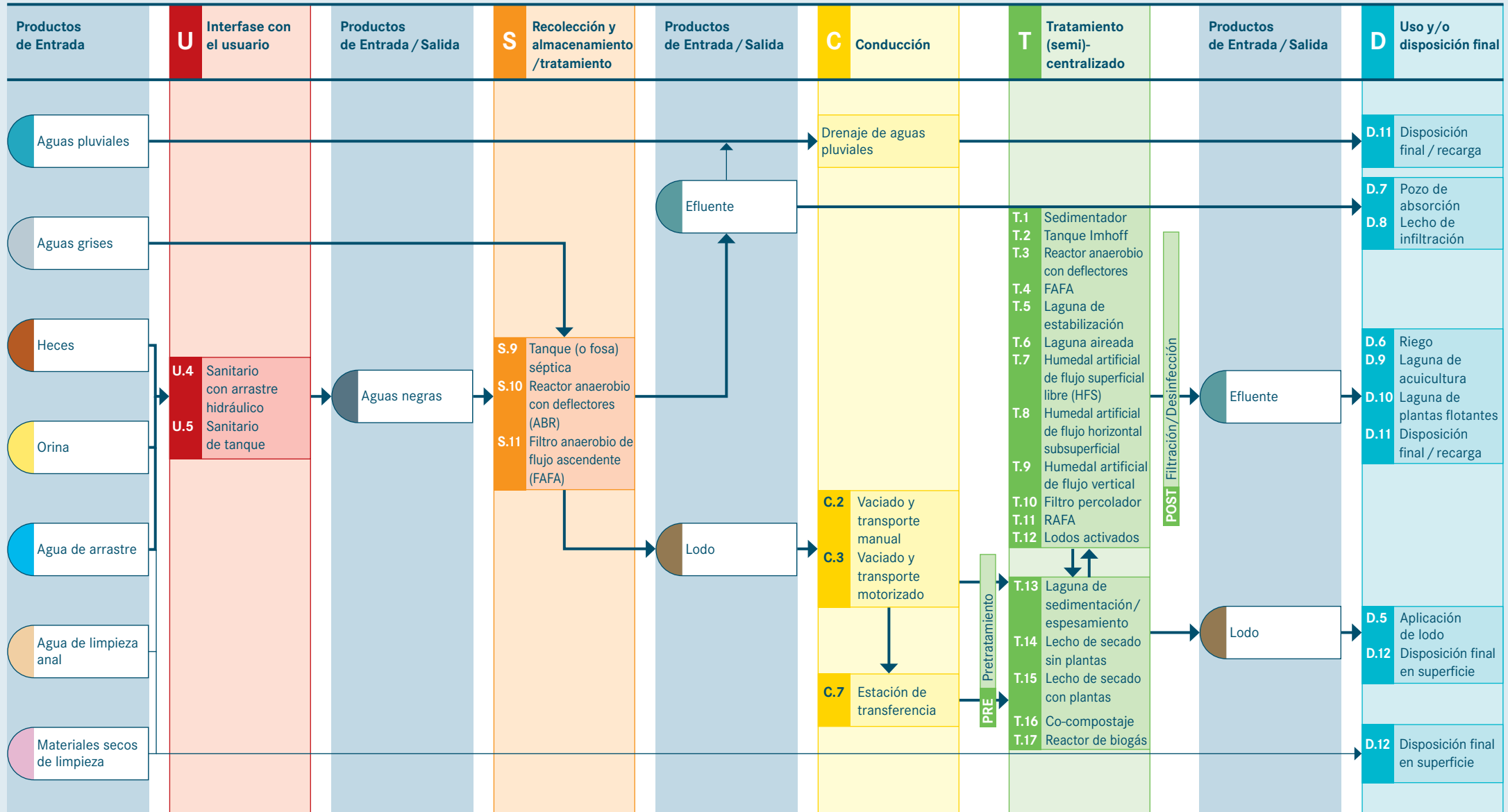
El reactor de biogás puede funcionar con una gran variedad de afluentes y es especialmente adecuado para lugares donde existe una constante fuente de estiércol, o donde los desperdicios de cocina y mercado son abundantes. En las granjas, por ejemplo, se pueden producir grandes cantidades de biogás si el estiércol animal es digerido junto con las aguas negras, mientras que no se lograría una producción de gas significativa si solamente se contara con excretas humanas. Los materiales como la madera o la paja son difíciles de degradar y deben evitarse en el sustrato.

Lograr un buen equilibrio entre las excretas (humanas y animales), los orgánicos y el agua puede tardar algún tiempo, aunque el sistema suele ser indulgente. Sin embargo, se debe tener cuidado de no sobrecargar el sistema con demasiados sólidos o líquidos (por ejemplo, no se deben agregar aguas grises en el reactor de biogás, ya que reducen sustancialmente el tiempo de retención hidráulica).

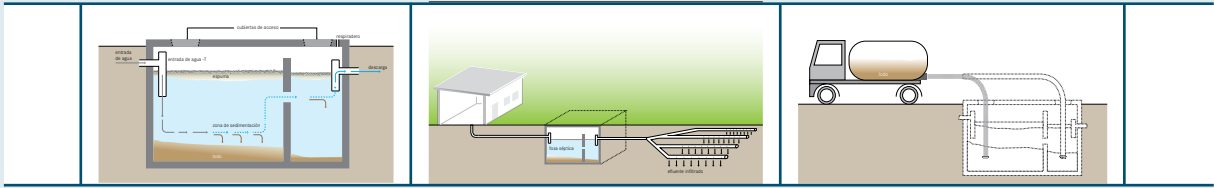
La mayoría de los tipos de materiales secos de limpieza y orgánicos puede ser descargada en el reactor de biogás; sin embargo, para acelerar la digestión y garantizar reacciones homogéneas dentro del tanque los materiales grandes deben romperse o cortarse en trozos pequeños.

Los lineamientos para el uso seguro de lodo han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.

## Sistema de saneamiento 6: Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración



## Sistema 6: Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración



Se trata de un sistema a base de agua que requiere una descarga de sanitario y una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento apropiada para recibir grandes cantidades de agua. Los afluentes del sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises. Hay dos tecnologías de interfase de usuario que pueden ser empleadas para este sistema: un sanitario con arrastre hidráulico (U.4) o un sanitario de tanque (U.5). Además, se podría utilizar un mingitorio (U.3). La interfase de usuario está directamente conectada a una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento para las aguas negras que se generan: se puede utilizar una fosa séptica o un tanque séptico (S.9), un reactor anaerobio con deflectores (ABR, S.10) o un filtro anaerobio (S.11). Los procesos anaerobios reducen la carga orgánica y patógena, pero el efluente aún no es adecuado para uso directo. Las aguas grises deben ser tratadas junto con las aguas negras, con la misma tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento, pero si es necesaria la recuperación de agua, pueden tratarse por separado (esto no se muestra en los esquemas de sistema de este compendio).

El efluente generado por la recolección y el almacenamiento/tratamiento puede descargarse en tierra para su uso y/o disposición final a través de un pozo de absorción (D.7) o un lecho de infiltración (D.8). Aunque no se recomienda, el efluente también puede descargarse en la red de drenaje de aguas pluviales para su disposición final/recarga de acuíferos (D.11). Lo anterior sólo se considerará si la calidad del efluente es alta, o si se carece de capacidad de infiltración en el sitio o transporte fuera del sitio.

El lodo que se genera en la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento debe ser removido y transportado para tratamiento adicional. Las tecnologías de conducción que se pueden utilizar incluyen vaciado y transporte manual (C.2), o vaciado y transporte motorizado (C.3). Dado que el lodo es sumamente patógeno antes del tratamiento, debe evitarse el contacto directo con el ser humano y su aplicación agrícola. El lodo que se remueve debe ser transportado a una instalación de tratamiento de lodos (T.13-T.17). En caso de que esas instalaciones no sean fácilmente accesibles, el lodo puede ser descargado en una estación de transferencia (C.7). Desde esa estación de transferencia será transportado a una planta de tratamiento en un vehículo motorizado (C.3).

Strande *et al.* (2014) brindan información sobre un árbol

de selección de tecnología para plantas de tratamiento de lodos (véase *Herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento*, p. 9). Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado (T.1-T.17) producen efluentes y lodo, los cuales podrían requerir tratamiento adicional antes de su uso y/o disposición final. Por ejemplo, el efluente de una planta de tratamiento de lodos podría tratarse junto con las aguas residuales en lagunas de estabilización (T.5) o en humedales artificiales (T.7-T.9). Las opciones para uso y/o disposición final de los efluentes tratados incluyen riego (D.6), lagunas de acuicultura (D.9), lagunas de plantas flotantes (D.10) o descargas en un cuerpo de agua (disposición final del agua/recarga de acuíferos, D.11). Después de un tratamiento adecuado, el lodo puede usarse en agricultura (D.5) o llevarse a un sitio de almacenamiento/disposición final (D.12).

**Consideraciones** Este sistema sólo es apropiado en áreas donde hay servicios de desenlodado disponibles y asequibles, y donde existe una forma adecuada para la disposición final del lodo. Para que las tecnologías de infiltración funcionen, tiene que haber suficiente espacio disponible y la tierra debe tener la capacidad de absorber el efluente. Si éste no es el caso, consulte el sistema 7 (sistema de tratamiento de aguas negras con conducción del efluente). Este sistema puede ser adaptado para su uso en climas fríos, incluso donde hay escarcha. El sistema requiere una fuente constante de agua.

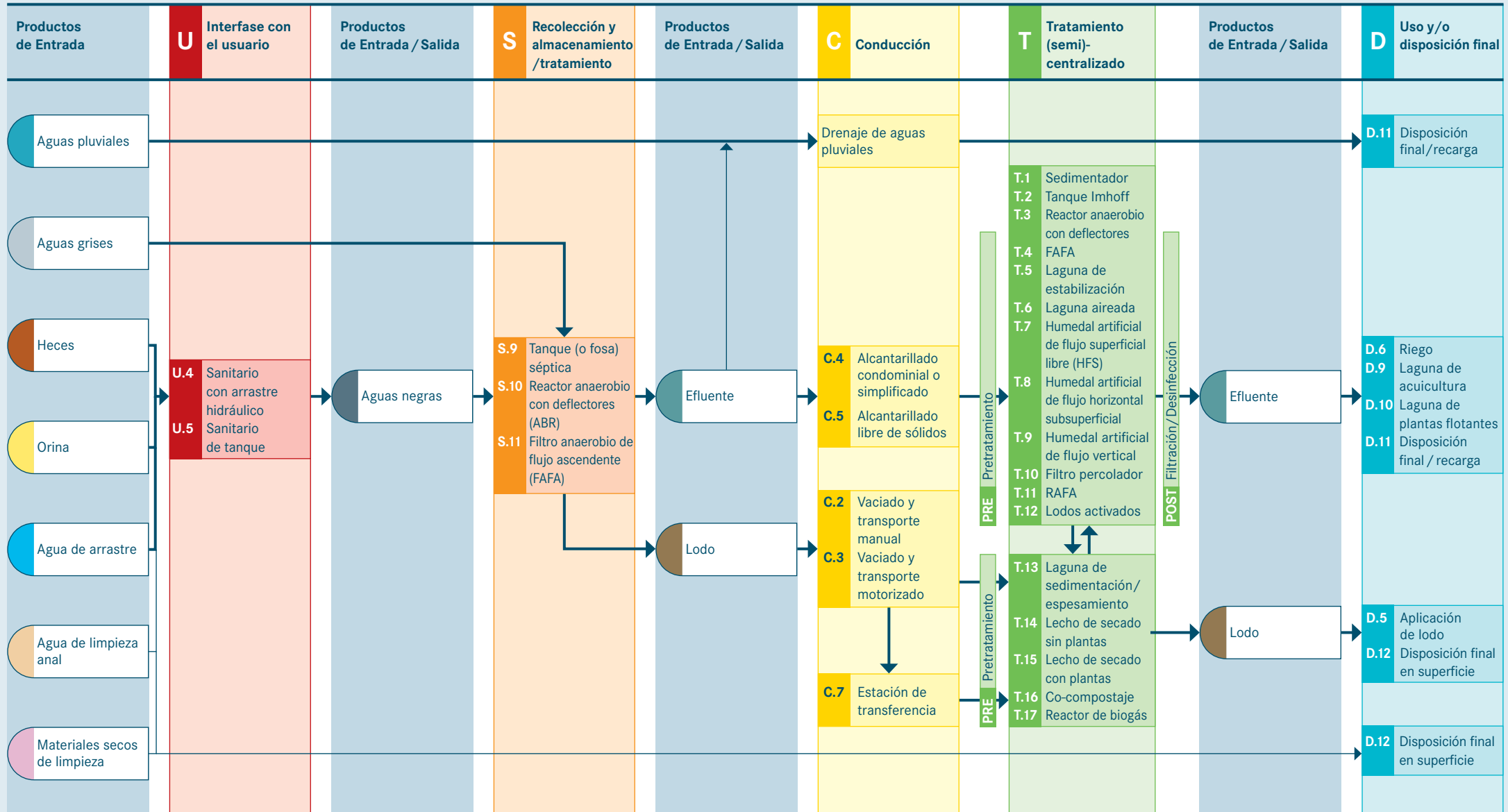
Este sistema a base de agua es conveniente para afluentes de agua de limpieza anal y, puesto que los sólidos se asientan y se digieren en el sitio, también se pueden utilizar materiales secos de limpieza que se degraden fácilmente. Sin embargo, los materiales no degradables o rígidos (por ejemplo, hojas y trapos) podrían obstruir el sistema y causar problemas con el vaciado; por lo tanto, no deben ser utilizados. Cuando los materiales secos de limpieza son recolectados por separado de los sanitarios, deben ser desechados de forma apropiada (por ejemplo, disposición final en superficie, D.12).

La inversión de capital para este sistema es considerable (excavación e instalación de tecnología de almacenamiento en el sitio e infiltración) pero los costos pueden ser compartidos por varias familias si el sistema se diseña para muchos usuarios.

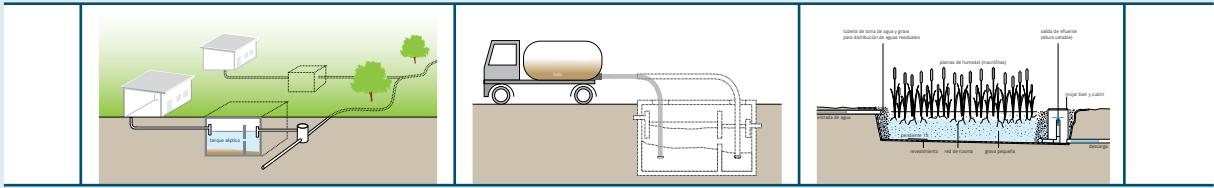
Los lineamientos para el uso seguro de efluentes y lodos han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.



## Sistema de saneamiento 7: Sistema de tratamiento de aguas negras con conducción del efluente



## Sistema 7: Sistema de tratamiento de aguas negras con acarreo del efluente



Este sistema se caracteriza por el uso de tecnología en el ámbito del hogar para remover y digerir sólidos asentados de las aguas negras, y un sistema de alcantarillado simplificado (C.4) o de alcantarillado libre de sólidos (C.5), con el fin de transportar el efluente a una planta de tratamiento semicentralizado. Los afluentes del sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises.

Este sistema es similar al sistema 6 (sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración), excepto que el manejo del efluente generado durante la recolección y el almacenamiento/tratamiento de las aguas negras es distinto: el efluente de fosas sépticas (S.9), reactores anaerobios con deflectores (S.10) o filtros anaerobios (S.11) es transportado a una planta con sistema de tratamiento (semi)centralizado por medio de un alcantarillado simplificado o un alcantarillado libre de sólidos. Las unidades de recolección y almacenamiento/tratamiento sirven como “tanques interceptores” y permiten usar alcantarillas simplificadas de pequeño diámetro, dado que el efluente está libre de sólidos asentados. De manera similar al sistema 6, el efluente también puede descargarse en la red de drenaje de aguas pluviales para su disposición final/recarga de acuíferos (D.11), aunque no es lo más recomendado. Lo anterior sólo debe considerarse si la calidad del efluente es alta, o si no es posible transportarlo a una planta de tratamiento.

El efluente transportado a una planta de tratamiento se trata con una combinación de tecnologías T.1-T.12. Al igual que en el sistema 6, el lodo de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento debe ser removido y transportado para tratamiento adicional en una planta de tratamiento de lodo (T.13-T.17).

Strande *et al.* (2014) brindan información sobre un árbol de selección de tecnología para plantas de tratamiento de lodos (véase *Herramientas de desarrollo complementarias del sector de saneamiento*, p. 9). Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado (T.1-T.17) producen efluentes y lodo, los cuales podrían requerir tratamiento adicional antes de su uso y/o disposición final.

Las opciones para uso y/o disposición final de los efluentes tratados incluyen riego (D.6), lagunas de acuicultura (D.9), lagunas de plantas flotantes (D.10) o descargas en un cuerpo de agua (disposición final del agua/recarga de acuíferos, D.11). Después de un tratamiento adecuado, el lodo puede usarse en agricultura (D.5) o llevarse a un sitio de almacenamiento/disposición final (D.12).

**Consideraciones** Este sistema es particularmente apropiado para asentamientos urbanos donde el suelo

no es adecuado para la infiltración del efluente. Debido a que la red de alcantarillado es poco profunda e (idealmente) resistente al agua, también se puede aplicar en áreas con capas freáticas altas. Este sistema puede utilizarse como una forma de mejorar las tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento (por ejemplo, fosas sépticas) existentes y que no estén funcionando bien, al mejorar el tratamiento.

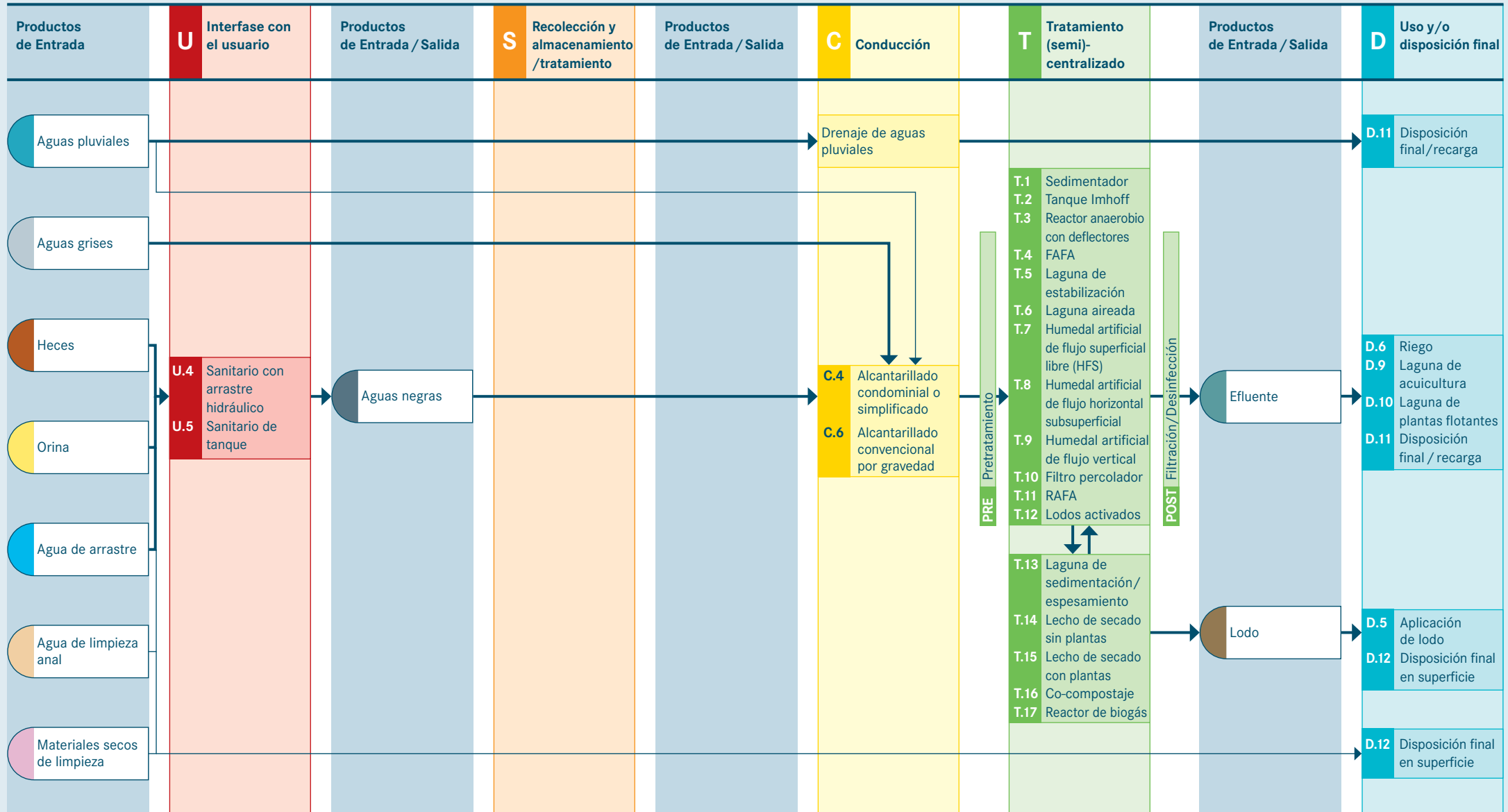
El éxito de este sistema depende del compromiso de los usuarios con respecto a la operación y el mantenimiento de la red de alcantarillado. Una persona u organización puede hacerse responsable en nombre de los usuarios. Debe haber un método sistemático y asequible para el desenlodado de interceptores, ya que si un usuario no mantiene el tanque apropiadamente, podría afectar de forma negativa a toda la red de alcantarillado. También es importante contar con una planta de tratamiento en buen funcionamiento y con un mantenimiento adecuado. En algunos casos, esto será gestionado a nivel municipal o regional. En el caso de una solución más local (por ejemplo, humedales artificiales), las responsabilidades de operación y mantenimiento también podrían organizarse en el ámbito comunitario.

Este sistema a base de agua es conveniente para afluentes de agua de limpieza anal y, puesto que los sólidos se asientan y se digieren en el sitio, también se pueden utilizar materiales secos de limpieza que se degraden fácilmente. Sin embargo, los materiales no degradables o rígidos (por ejemplo, hojas y trapos) podrían obstruir el sistema y causar problemas con el vaciado; por lo tanto, no deben ser utilizados. Cuando los materiales secos de limpieza son recolectados por separado de los sanitarios deben ser desechados de forma apropiada (por ejemplo, disposición final en superficie, D.12).

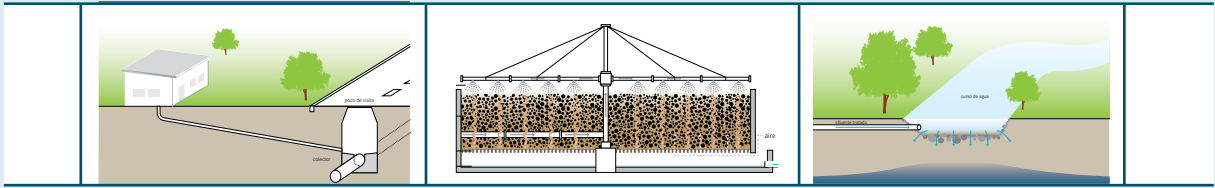
Con el transporte del efluente desde el sitio hasta una planta con sistema de tratamiento semicentralizado la inversión de capital de este sistema es considerable. La instalación de tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento en el sitio puede ser costosa, pero el diseño y la instalación de un alcantarillado simplificado o libre de sólidos costarán considerablemente menos que una red de alcantarillado convencional por gravedad. La planta de tratamiento fuera del sitio también implica un costo importante, en particular si no hay ninguna instalación preexistente a la que se pueda conectar la alcantarilla.

Los lineamientos para el uso seguro de efluentes y lodos han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.

## Sistema de saneamiento 8: Sistema de conducción de aguas negras a tratamiento (semi)centralizado



## Sistema 8: Sistema de conducción de aguas negras a tratamiento



Este es un sistema de alcantarillado a base de agua en el cual las aguas negras son transportadas a una planta con sistema de tratamiento centralizado o semicentralizado. La característica más importante de este sistema es que no incluye recolección ni almacenamiento/tratamiento. Los afluentes del sistema incluyen heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza, aguas grises y, posiblemente, aguas pluviales.

Hay dos tecnologías de interfase de usuario que pueden ser utilizadas para este sistema: un sanitario con arrastre hidráulico (U.4) o un sanitario de tanque (U.5). Además, se podría emplear un mingitorio (U.3). Las aguas negras que se generan en la interfase de usuario junto con las aguas grises son transportadas directamente a una planta con sistema de tratamiento centralizado o semicentralizado, a través de una red de alcantarillado condominial o simplificado (C.4) o de alcantarillado convencional por gravedad (C.6).

Las aguas pluviales también pueden sumarse a la red de alcantarillado convencional por gravedad, aunque esto diluiría las aguas residuales y requeriría desbordamientos de aguas pluviales. Por lo tanto, los enfoques recomendados son la infiltración y la retención local de aguas pluviales, o un sistema de drenaje separado para el agua de lluvia.

Dado que este sistema no incluye recolección ni almacenamiento/tratamiento, todas las aguas negras son transportadas a una planta con sistema de tratamiento semicentralizado. La inclusión de aguas grises en la tecnología de conducción ayuda a evitar que se acumulen sólidos en las alcantarillas.

Se requiere una combinación de tecnologías T.1-T.12 para el tratamiento de las aguas negras transportadas. El lodo generado por estas tecnologías debe ser tratado de nuevo en una planta de tratamiento de lodos (tecnologías T.13 T.17) antes de su uso y/o disposición final.

Las opciones para uso y/o disposición final de los efluentes tratados incluyen riego (D.6), lagunas de acuicultura (D.9), lagunas de plantas flotantes (D.10) o descargas en un cuerpo de agua (disposición final del agua/recarga de acuíferos, D.11). Después de un tratamiento adecuado, el lodo puede utilizarse en agricultura (D.5) o llevarse a un sitio de almacenamiento/disposición final (D.12).

**Consideraciones** Este sistema es especialmente apropiado para asentamientos periurbanos, urbanos y densos donde hay poco o ningún espacio para tecnologías de almacenamiento o vaciado en el sitio. El sistema no se adapta bien a zonas rurales con baja densidad de viviendas. Debido a que la red de alcantarillado (idealmente) es resistente al agua, también puede aplicarse en áreas con capas freáticas altas. Debe haber un suministro constante de agua para garantizar que las alcantarillas no se bloqueen.

Los materiales secos de limpieza pueden ser manejados por el sistema, o ser recolectados y desechados por separado (por ejemplo, disposición final en superficie, D.12).

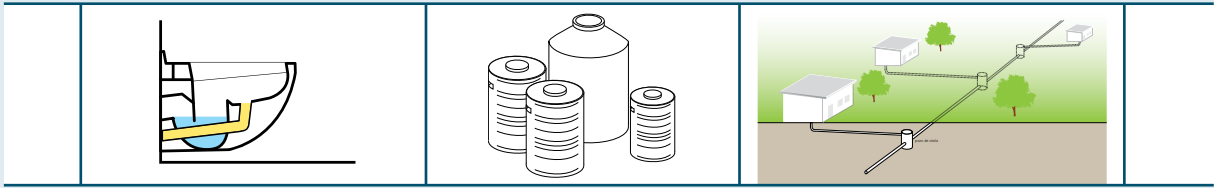
La inversión de capital de este sistema puede ser muy alta. El alcantarillado convencional por gravedad es más costoso porque requiere excavación extensa e instalación; en comparación, el alcantarillado simplificado suele ser menos costoso si las condiciones del lugar permiten un diseño condominial. Es posible que los usuarios deban pagar tarifas por el uso del sistema y por su mantenimiento. Dependiendo del tipo de alcantarilla y estructura de manejo (simplificada vs. convencional, gestionada por la ciudad vs. operada por la comunidad) habrá diversos grados de responsabilidad de operación o mantenimiento para los propietarios de viviendas.

Este sistema es más apropiado cuando hay disposición y capacidad de pagar la inversión de capital y los costos de mantenimiento, y donde exista una planta de tratamiento con capacidad para aceptar flujo adicional.

Los lineamientos para el uso seguro de efluentes y lodos han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.



## Sistema 9: Sistema de alcantarillado con separador de orina



Es un sistema a base de agua que requiere un sanitario de tanque con desviación de orina (UDFT, U.6) y una alcantarilla. El UDFT es una interfase de usuario especial que permite la recolección por separado de orina sin agua, aunque usa el agua para eliminar las heces. Los afluentes al sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza, aguas grises y, posiblemente, aguas pluviales.

La principal tecnología de interfase de usuario para este sistema es el UDFT (U.6). Se puede instalar un mingitorio (U.3) adicional para una eficaz recolección de orina. Las aguas café y la orina se separan en la interfase de usuario. Las aguas café pasan por una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento y son transportadas directamente a un sistema de tratamiento semicentralizado, utilizando una red de alcantarillado simplificado (C.4) o de alcantarillado convencional por gravedad (C.6). Las aguas grises también son transportadas por la alcantarilla y no se tratan por separado.

Las aguas pluviales pueden sumarse a la red de alcantarillado convencional por gravedad, aunque esto diluiría las aguas residuales y requeriría desbordamientos de aguas pluviales. Por lo tanto, los enfoques recomendados son la infiltración y la retención local de aguas pluviales, o un sistema de drenaje separado.

La orina separada en la interfase de usuario es recolectada en un tanque de almacenamiento (S.1). La orina almacenada puede ser fácilmente manejada y presenta pocos riesgos, pues es prácticamente estéril. Debido a su alto contenido de nutrientes, puede utilizarse como fertilizante líquido. La orina almacenada puede ser transportada para su aplicación en agricultura (D.2) mediante bidones o tanques (C.1) o vaciado y transporte motorizado (C.3) —de la misma forma en que el agua a granel o el lodo se transporta a los campos—.

Las aguas café se tratan en una planta con sistema de tratamiento semicentralizado, utilizando una combinación de las tecnologías T.1 a T.12. El lodo generado por estas tecnologías debe ser tratado nuevamente en una planta de tratamiento de lodos (tecnologías T.13 T.17) antes de su uso y/o disposición final. Las opciones para uso y/o disposición final de los efluentes tratados incluyen riego (D.6), lagunas de acuicultura (D.9), lagunas de plantas flotantes (D.10) o descargas en un cuerpo de agua (disposición final del agua/recarga de acuíferos, D.11). Después de un tratamiento adecuado, el lodo puede

usarse en agricultura (D.5) o llevarse a un sitio de almacenamiento/disposición final (D.12).

**Consideraciones** Este sistema sólo es apropiado cuando se necesita separar la orina o cuando se desea limitar el consumo de agua usando un UDFT de poco arrastre (aunque el sistema requiere una fuente constante de agua). Puede haber beneficios para la planta de tratamiento si normalmente está sobrecargada; la carga reducida de nutrientes (mediante la eliminación de la orina) puede optimizar el tratamiento. Sin embargo, si la planta está cargada por debajo de su capacidad (esto es, ha sido sobredimensionada), este sistema podría agravar el problema. Dependiendo del tipo de alcantarilla que se use, este sistema puede ser adaptado para zonas periurbanas y urbanas densas. No se adapta bien en zonas rurales con baja densidad de viviendas. Debido a que la red de alcantarillado (idealmente) es resistente al agua, también puede aplicarse en áreas con capas freáticas altas.

Los materiales secos de limpieza pueden ser manejados por el sistema, o ser recolectados y desechados por separado (por ejemplo, disposición final en superficie, D.12). Los UDFT no son comunes y el costo de inversión de este sistema suele ser muy alto. Esto se debe, en parte, al hecho de que hay poca competencia en el mercado de esta interfase de usuario y porque se requiere mano de obra muy calificada para el sistema de plomería dual. El alcantarillado convencional por gravedad es más costoso porque requiere excavación extensa e instalación; en comparación, el alcantarillado simplificado suele ser menos costoso si las condiciones del lugar permiten un diseño condominial. Es posible que los usuarios deban pagar tarifas por el uso del sistema y por su mantenimiento. Dependiendo del tipo de alcantarilla y estructura de manejo (simplificada vs. convencional, gestionada por la ciudad vs. operada por la comunidad) habrá diversos grados de responsabilidad de operación o mantenimiento para los propietarios de viviendas.

Este sistema es más apropiado cuando hay disposición y capacidad para pagar la inversión de capital y los costos de mantenimiento, y donde exista una planta de tratamiento con capacidad para aceptar flujo adicional. Los lineamientos para el uso seguro de efluentes y lodos han sido publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se mencionan, según corresponda, en las fichas tecnológicas.



## Parte 2: Grupos funcionales con fichas tecnológicas

La segunda parte del compendio ofrece una visión general de las diferentes tecnologías de saneamiento dentro de cada grupo funcional, pues explica cómo funcionan, dónde pueden ser usadas, y sus ventajas y desventajas.

Para cada tecnología que se describe en los esquemas de sistemas hay una hoja de **ficha tecnológica** que incluye una ilustración, un resumen de la tecnología y una discusión en torno de sus aplicaciones apropiadas y sus limitaciones. Las dos páginas siguientes brindan una explicación de cómo leer las fichas tecnológicas.

Las fichas tecnológicas no pretenden ser una referencia técnica o un manual de diseño; por el contrario, son un punto de partida para elaborar un diseño más detallado. Además, las fichas tecnológicas sirven como fuente de discusión e inspiración para ingenieros y planificadores, quienes podrían no haber considerado previamente todas las opciones posibles.

Las tecnologías están ordenadas y codificadas por colores según su asociación con cada grupo funcional:

**U** **Interfase con el usuario**

(Tecnologías U.1-U.6): rojo

**S** **Recolección y almacenamiento/tratamiento**

(Tecnologías S.1-S.12): naranja

**C** **Conducción** (Tecnologías C.1-C.7): amarillo

**T** **Tratamiento (semi)centralizado**

(Tecnologías PRE, T.1-T.17, POST): verde

**D** **Uso y/o disposición final**

(Tecnologías D.1-D.13): azul

A cada tecnología en un grupo funcional se le asigna un código de referencia con una sola letra y número: la letra corresponde a su grupo funcional (por ejemplo, U para interfase con el usuario), y el número, que va de menor a mayor, indica aproximadamente qué tan intensiva es la tecnología en consumo de recursos (económicos, materiales y humanos) en comparación con las otras tecnologías dentro del grupo.

La sección final introduce nuevas tecnologías emergentes, las cuales, si bien aún están en desarrollo o siendo probadas, muestran prometedoras aplicaciones a futuro.



# Lectura de las fichas tecnológicas

La siguiente figura es un ejemplo del encabezado de una hoja de ficha tecnológica.

<b>S.8</b>		<b>Cámara de compostaje</b>	Aplica a: <b>Sistema 2</b>
<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Excretas  Heces  Orgánicos (+  Materiales secos de limpieza)	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vivienda</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Vecindario</b> <input type="checkbox"/> <b>Ciudad</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vivienda</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Vecindario</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Ciudad</b>	<b>Salidas:</b> Composta  Efluente	

**1 El título con color, letra y número de código.** El código de color (naranja) y la letra (S) indican que la tecnología pertenece al grupo funcional “Recolección y almacenamiento/tratamiento” (S). El número (8) indica que es la octava tecnología dentro de ese grupo funcional.

Cada ficha tecnológica tiene un color similar, una letra y un código numérico, lo que permite fácil acceso y referencias cruzadas.

**2 Aplicable al sistema 2.** Esto indica en cuáles esquemas de sistema se puede encontrar la tecnología. En este caso, la cámara de compostaje puede hallarse (y sólo se halla) en el sistema 2. Otras tecnologías podrían aplicarse a más de un sistema.

**3 Nivel de aplicación.** En este encabezado se definen tres niveles espaciales:

- *Vivienda* implica que la tecnología es apropiada para una o varias viviendas.
- *Vecindario* significa que la tecnología es apropiada para muchas o muchísimas viviendas.
- *Ciudad* implica que la tecnología es apropiada en el ámbito de la ciudad (sea una unidad para toda la ciudad o muchas unidades para distintas partes de la ciudad).

Se usan estrellas para indicar qué tan apropiado es cada nivel para la tecnología:

- *Dos* estrellas significan un nivel adecuado.
- *Una* estrella significa un nivel menos adecuado.
- *Ninguna* estrella significa que el nivel no es adecuado.

Depende del usuario del compendio decidir el nivel apropiado para la situación específica que esté trabajando.

El gráfico “Nivel de aplicación” sólo pretende ser una guía para usarse en la fase de planificación preliminar. Las tecnologías dentro del grupo funcional “Interfase de usuario” no incluyen un “Nivel de aplicación”, ya que solamente pueden atender a un número limitado de personas.

**4 El nivel de manejo** describe la mejor opción de estilo organizacional utilizado para operación y mantenimiento (O&M) de la tecnología dada:

- *Vivienda* implica que el hogar (por ejemplo, la familia) es responsable de toda O&M.
- *Compartido* significa que un grupo de usuarios (por ejemplo, una escuela, una organización comunitaria o vendedores de un mercado) se encarga de la O&M, garantizando que una persona o un comité es responsable en nombre de todos los usuarios. Las instalaciones compartidas se definen por el hecho de que la comunidad de usuarios decide a quién se le permite usar la instalación y cuáles son sus responsabilidades; es un grupo de usuarios autodenominado.
- *Público* implica instalaciones administradas por instituciones o gobiernos, y la O&M es asumida por la agencia que opera las instalaciones. Generalmente sólo los usuarios que pueden pagar por el servicio pueden utilizar las instalaciones públicas.

En este ejemplo, la cámara de compostaje podría mane-

jarse en cualquiera de los tres estilos, aunque es menos adecuada para instalaciones públicas.

Las tecnologías en el grupo funcional de interfase de usuario no incluyen un nivel de gestión, ya que el mantenimiento depende de las tecnologías posteriores, y no simplemente en la interfase de usuario.

**5** Los **afluentes** se refieren a los productos que fluyen en la tecnología dada.

Los íconos que se muestran **sin paréntesis** son los afluentes regulares que normalmente fluyen en una tecnología. Para algunas tecnologías estos productos representan alternativas u opciones (posibilidades) de las cuales no todas son necesarias. Por lo tanto, los íconos usuales representan *productos obligatorios o elección de productos principales obligatorios*.

Los productos **entre paréntesis [()]** son *productos adicionales (opcionales)* que pueden o no ser usados o estar presentes como productos de afluente, dependiendo del diseño o el contexto.

Cuando un producto se produce *mezclado* con otro producto, esto se indica por el signo “+”. El producto que sigue al “+” se mezcla con los productos anteriores. Los productos a ambos lados del “+” se incluyen en la tecnología dada y se mezclan.

En este ejemplo, las excretas o las heces (si se usa un SSDO como interfase de usuario) y los orgánicos son los principales productos que pueden ser procesados

por la cámara de compostaje. Los materiales secos de limpieza también pueden ser incluidos (los paréntesis indican que se trata de un afluente adicional u opcional, en caso de que los usuarios sean limpiadores y utilicen materiales secos de limpieza biodegradables).

Los materiales secos de limpieza no están separados de las excretas o de las heces en la interfase con el usuario y, por lo tanto, entran en la cámara de compostaje junto con los productos anteriores (indicados por el signo “+”). El agua de limpieza anal no debe descargarse en la cámara de compostaje; por lo tanto, *no* aparece en la lista.

**6** Los **efluentes** se refieren a los productos que fluyen fuera de la tecnología dada.

Los íconos que se muestran **sin paréntesis** son los efluentes que típicamente fluyen de una tecnología.

Los productos **en paréntesis [()]** son *productos adicionales (opcionales)* que pueden o no ocurrir como productos de efluente, dependiendo del diseño o el contexto.

Cuando estos productos se presentan *mezclados* con otro producto, esto se indica por el signo “+”. El producto que sigue al “+” se mezcla con los productos anteriores. En otras palabras, los productos a ambos lados del “+” emanan de la tecnología dada y mezclados.

En este ejemplo, la cámara de compostaje genera dos productos separados: composta y efluente (lixiviado).





Esta sección describe las tecnologías con las que interactúa el usuario (esto es, tipo de sanitario, pedestal, losa u mingitorio utilizado por el usuario). La interfase de usuario debe garantizar que las excretas se separen higiénicamente del contacto humano para prevenir exposición fecal. Hay dos tipos principales de interfase: tecnologías secas que operan sin agua (U.1-U.3) y tecnologías a base de agua, que necesitan un suministro constante para su adecuado funcionamiento (U.4-U.6). Las diferentes tecnologías de interfase de usuario generan distintos productos de efluente. Esto influye en el tipo de tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento o conducción.




- U.1 Sanitario seco
- U.2 Sanitario seco con desviación de orina (SSDO)
- U.3 Mingitorio o urinario
- U.4 Sanitario con arrastre hidráulico
- U.5 Sanitario de tanque
- U.6 Sanitario de tanque con desviación de orina (UDFT por sus siglas en inglés)

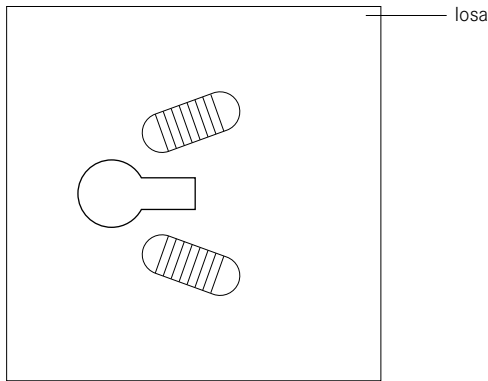
En cualquier contexto, la selección de tecnología suele depender de los siguientes factores:

- Disponibilidad de agua de arrastre.
- Preferencias y hábitos de los usuarios (sentado o en cuclillas; lavarse o limpiarse).
- Necesidades especiales para grupos de usuarios.
- Disponibilidad local de materiales.
- Compatibilidad con la siguiente tecnología de recolección y conducción o almacenamiento/tratamiento.

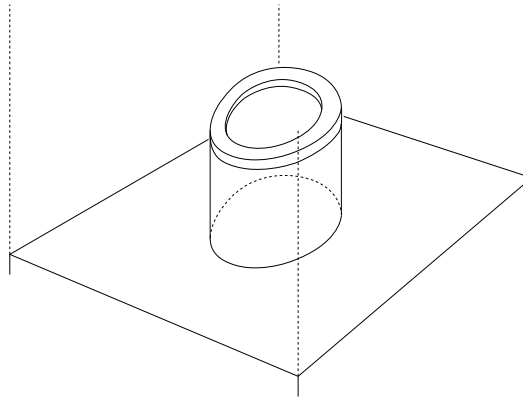


**Entradas:**  Heces  Orina ( Agua de limpieza anal) ( Materiales secos de limpieza)

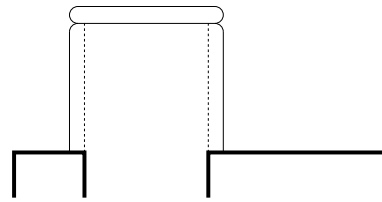
**Salidas:**  Excretas (+  Agua de limpieza anal) (+  Materiales secos de limpieza)



opción 1



opción 2



**Un sanitario seco es un sanitario que funciona sin agua de arrastre. Puede ser un pedestal elevado en el que se sienta el usuario o una losa sobre la que el usuario se pone en cuclillas. En ambos casos, las excretas (orina y heces) caen por un agujero.**

En este compendio, un sanitario seco se refiere específicamente al dispositivo sobre el cual el usuario se sienta o se pone en cuclillas. En otras publicaciones, un sanitario seco puede referirse a diversas tecnologías o a una combinación de tecnologías (especialmente cámaras).

**Consideraciones de diseño** El sanitario generalmente seco se coloca sobre una cámara; si se usan dos cámaras, el pedestal o la losa debe diseñarse de manera que pueda ser levantada y trasladada de una cámara a otra. La base de losa o pedestal debe ser del tamaño adecuado para la cámara, para que sea segura para el usuario y evite que las aguas pluviales se infiltren en ella (lo cual puede causar desbordamientos). El orificio puede cerrarse con una tapa para evitar la intrusión indeseada de insectos o roedores.

Los pedestales y las losas se pueden hacer localmente

con concreto (siempre y cuando haya arena y cemento disponibles). Otras versiones se elaboran con fibra de vidrio, acero inoxidable o porcelana. Se pueden emplear moldes de madera o de metal para producir varias unidades de forma rápida y eficiente.

**Idoneidad** Los sanitarios secos son fáciles de usar para casi todas las personas, aunque se debe considerar a los usuarios ancianos o discapacitados que puedan tener dificultades. Cuando los sanitarios secos se fabrican localmente, pueden diseñarse para satisfacer las necesidades de los usuarios meta (por ejemplo, para niños pequeños). Dado que no hay necesidad de separar la orina de las heces, suelen ser la opción más sencilla y físicamente más cómoda.

**Aspectos de salud/aceptación** Ponerse en cuclillas es una posición natural para muchas personas, por lo que una losa bien cuidada puede ser la opción más aceptable.

Puesto que los sanitarios secos no tienen sello de agua, los olores pueden ser un problema, dependiendo de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento conectada a ellos.

**Operación y mantenimiento** La superficie para sentarse o ponerse en cuclillas debe mantenerse limpia y seca para evitar la transmisión de enfermedad patógenas y limitar los olores.





No hay piezas mecánicas; por lo tanto, el sanitario seco no necesitará reparaciones, excepto en caso de grietas.





#### Pros y contras

- + No requiere una fuente constante de agua.
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Tiene bajos costos de capital y de operación.
- + Es adecuado para todo tipo de usuario (sentado, en cuclillas, lavadores, limpiadores).
- Los olores suelen notarse (incluso si la cámara usada para recolectar las excretas está equipada con un tubo de ventilación).
- La pila de excretas es visible, excepto cuando se utiliza una cámara profunda.
- Los vectores, como las moscas, son difíciles de controlar si no se emplean mosqueros y cobertores apropiados.

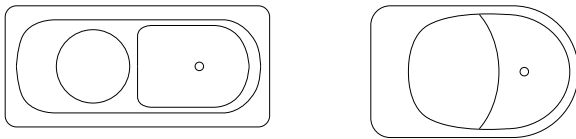
#### Referencias y lecturas adicionales

- \_ Brandberg, B. (1997), *Latrine Building. A Handbook for Implementation of the Sanplat System*. Intermediate Technology Publications, Londres, Reino Unido, pp. 55-77.  
(Describe cómo construir una losa para ponerse en cuclillas y los moldes para el bastidor, el reposapiés, los espaciadores, etcétera.)
- \_ CAWST (2011), *Introduction to Low Cost Sanitation. Latrine Construction. A CAWST Construction Manual*, Centre for Affordable Water and Sanitation Technologies (CAWST), Calgary, CA.  
Disponible en [www.cawst.org](http://www.cawst.org).  
(Manual muy detallado de construcción para diversos diseños de losas.)
- \_ Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).  
(Excelente descripción para hacer anillos de apoyo y losas para ponerse en cuclillas [pp. 7-35] y pedestales [pp. 39-43] usando sólo arena, cemento, láminas de plástico y alambre.)
- \_ Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- \_ Reed, B. (2012), *An Engineer's Guide to Latrine Slabs*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.  
Disponible en [wedc.lboro.ac.uk/knowledge/booklets.html](http://wedc.lboro.ac.uk/knowledge/booklets.html).  
(Guía completa con información clave y listas de verificación para diseño, construcción y mantenimiento.)

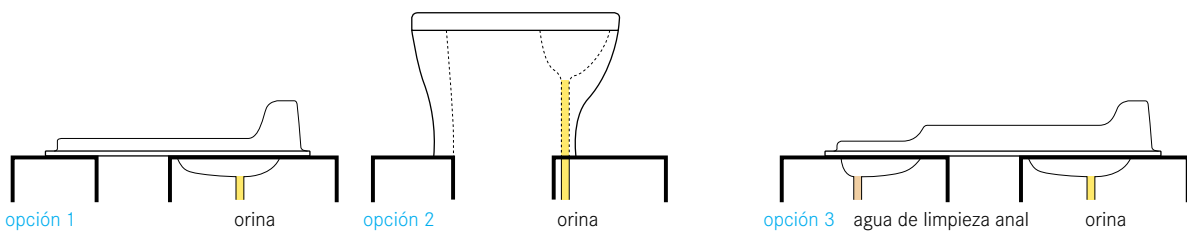
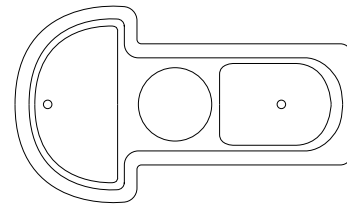
**Entradas:**  Heces  Orina  Agua de limpieza anal)  Materiales secos de limpieza)

**Salidas:**  Heces (+  Materiales secos de limpieza)  Orina  Agua de limpieza anal)

para los que se limpian con papel



para los que se limpian con agua



**Un sanitario seco con desviación de orina (SSDO), también conocido como UDDT por sus siglas en inglés, funciona sin agua y tiene un divisor para que el usuario, fácilmente, pueda separar la orina de las heces.**

El SSDO está construido para que la orina sea recolectada y drenada del área frontal del sanitario, mientras que las heces caen a través de un gran conducto (agujero) en la parte posterior. Dependiendo de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento a seguir, deben agregarse materiales de secado como cal, ceniza o tierra en el agujero después de defecar.

**Consideraciones de diseño** Es importante que las dos secciones del sanitario estén bien separadas para garantizar que: *a)* las heces no caigan ni obstruyan el área de recolección de orina del frente, y *b)* la orina no salpique hacia abajo en la zona seca del sanitario.

También hay sanitarios con tres agujeros que permiten que el agua de limpieza anal entre en un tercer desagüe para separarla de la recolección de heces y orina en el drenaje. Tanto el pedestal como la losa para ponerse en cuclillas pueden usarse para separar la orina de las heces según la preferencia del usuario.

La orina tiende a oxidar la mayoría de los metales; por lo tanto, deben evitarse los metales en la tubería y en la construcción del SSDO. Para limitar las incrustaciones, todas las conexiones (tuberías) a los tanques de almacenamiento deben mantenerse tan cortas como sea posible; los tubos deben ser instalados con una pendiente al menos de 1%, y deben evitarse los ángulos agudos (90°). Un diámetro de 50 mm es suficiente para pendientes pronunciadas, donde el mantenimiento sea fácil. En otros lugares, especialmente para pendientes mínimas o donde el acceso es difícil, deberían usarse tubos de mayor diámetro (> 75 mm).

Para evitar que salgan olores por el tubo debe instalarse un sello de olor en el desagüe de la orina.

**Idoneidad** El SSDO es fácil de diseñar y construir con materiales como concreto y malla de alambre o plástico. El diseño del SSDO puede modificarse para adaptarse a las necesidades de poblaciones específicas (esto es, más pequeño para los niños, para personas que prefieren ponerse en cuclillas, etcétera).

**Aspectos de salud/aceptación** El SSDO no es inmediatamente obvio o intuitivo para algunos usuarios.

Al principio, éstos pueden tener dudas sobre cómo usarlo, y cometer errores (por ejemplo, dejar heces en el recipiente de orina) puede disuadir a otros a aceptar este tipo de sanitario. Los proyectos de demostración y entrenamiento son esenciales para lograr la buena aceptación de los usuarios. Para una mejor aceptación del sistema y para evitar orina en el recipiente de recolección de heces el sanitario puede combinarse con un mingitorio (U.3), para permitir que los hombres orinen de pie.

**Operación y mantenimiento** Un SSDO es un poco más difícil de mantener limpio en comparación con otros sanitarios debido a la falta de agua y a la necesidad de separar las heces sólidas y la orina líquida. Ningún diseño funcionará para todas las personas y, por lo tanto, algunos usuarios podrían tener dificultades para separar ambas corrientes perfectamente, lo que puede resultar en mantenimiento y limpieza adicionales. Las heces pueden depositarse de manera accidental en la sección de la orina, causando bloqueos y problemas de limpieza.

Todas las superficies deben limpiarse regularmente para evitar malos olores y minimizar la formación de manchas. No se debe verter agua en el sanitario para la limpieza. En cambio, puede usarse un paño húmedo para asear el asiento y los recipientes por dentro. Algunos sanitarios son fácilmente desmontables y se pueden limpiar más a fondo. Es importante que las heces permanezcan separadas y secas. Cuando se lave el sanitario con agua, se debe tener cuidado de garantizar que las heces no se mezclen con el agua.

Debido a que la orina es recolectada por separado, algunos minerales y sales con base de calcio y magnesio pueden precipitarse y acumularse en las tuberías y las superficies donde la orina está presente de manera constante. Lavar el recipiente con un ácido suave (por ejemplo, vinagre) o agua caliente puede prevenir la acumulación de depósitos e incrustaciones minerales. Para la eliminación de obstrucciones se puede usar un ácido más fuerte (> 24% acético) o una solución de soda cáustica (dos partes de agua y una parte de soda). Sin embargo, en algunos casos podría necesitarse extracción manual.

Un sello de olor también requiere mantenimiento ocasional. Es fundamental revisar a menudo su funcionamiento.

### Pros y contras

- + No requiere una fuente constante de agua.
- + No hay ningún problema real con moscas ni malos olores si se usa y se mantiene correctamente.

- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Tiene bajos costos de capital y de operación.
- + Es adecuado para todo tipo de usuario (sentado, en cuclillas, lavadores, limpiadores).
- Los modelos prefabricados no están disponibles en todas partes.
- Requiere entrenamiento y aceptación para ser usado de manera correcta.
- Es propenso al mal uso y a la obstrucción con heces.
- La pila de excretas está a la vista.
- Los hombres generalmente requieren un mingitorio por separado para una óptima recolección de la orina.

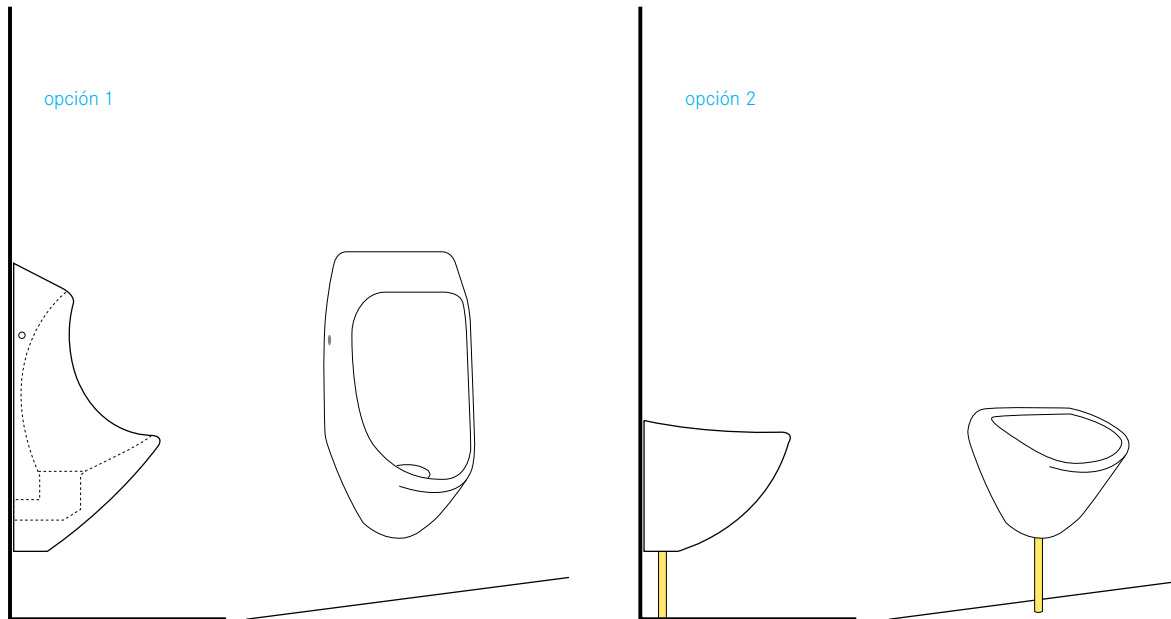
### Referencias y lecturas adicionales

- Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).  
(Proporciona instrucciones paso a paso sobre cómo construir un SSDO con un cubo plástico y cómo elaborar una losa para uso en cuclillas con separador de orina.)
- Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Münch, E. von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- NWP (2006), *Smart Sanitation Solutions. Examples of Innovative, Low-Cost Technologies for Toilets, Collection, Transportation, Treatment and Use of Sanitation Products*, Netherlands Water Partnership, La Haya, Países Bajos.  
Disponible en [www.ircwash.org](http://www.ircwash.org).
- Rieck, C., E von Münch y H. Hoffmann (2012), *Technology Review of Urine-Diverting Dry Toilets (UDDTs). Overview of Design, Operation, Management and Costs*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Winblad, U., y M. Simpson-Hébert (eds.) (2004), *Ecological Sanitation. Revised and Enlarged Edition*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).



**Entradas:** Orina ( Agua de arrastre)

**Salidas:** Orina (+ Agua de arrastre)



**Los mingitorios se utilizan sólo para recolectar orina. Suelen ser para hombres, aunque existen modelos para mujeres. La mayoría de los mingitorios usa agua para la limpieza, pero los mingitorios secos son cada vez más populares.**

Los mingitorios para mujeres consisten en gradas y un canal de captación inclinado que conduce la orina a un área de recolección. Para los hombres, los mingitorios pueden ser unidades de pared verticales o losas para que el usuario se ponga en cuclillas.

El mingitorio puede usarse con o sin agua, para lo cual se diseñan las tuberías según corresponda. Si se usa agua, será principalmente para limpiarlo y para inhibir los olores (con un sello de agua).

**Consideraciones de diseño** Para mingitorios a base de agua, el uso de agua por arrastre oscila entre menos de 2 L en los diseños actuales y casi 20 L en modelos anticuados. Se deben favorecer las tecnologías de ahorro de agua o sin agua. Para minimizar los olores y la pérdida de nitrógeno en los diseños simples de mingitorios sin agua, el tubo de recolección debe estar sumergido en el depósito de orina para que sirva como sello líquido.

Los mingitorios sin agua están disponibles en una amplia gama de formas y estilos. Algunos cuentan con un sello de olor que puede tener un cierre mecánico, una membrana o un líquido sellador.

Si se pone una pequeña diana o se pinta la apertura cerca del desagüe, se puede reducir la cantidad de rociadura o salpicado; este tipo de guía de usuario puede ayudar a mejorar la limpieza de las instalaciones. Dado que el mingitorio es exclusivamente para la orina, es importante proporcionar también un sanitario para las heces.

**Idoneidad** Los mingitorios pueden usarse en hogares, así como en instalaciones públicas. En algunos casos, la provisión de un mingitorio es útil para prevenir el uso indebido de sistemas secos (por ejemplo, SSDO y U.2). Los mingitorios sin agua y portátiles suelen utilizarse en festivales, conciertos y otras reuniones, para mejorar las instalaciones de saneamiento y reducir la carga de aguas residuales liberada en el sitio. De esta manera, un gran volumen de orina puede ser recolectado (y usado o descargado en un lugar o un tiempo más apropiados), y los sanitarios restantes pueden reducirse en número o ser utilizados más eficientemente.

**Aspectos de salud/aceptación** El mingitorio es una interfase de usuario cómoda y fácilmente aceptada. Aunque es simple en diseño y construcción, el mingitorio puede tener un gran impacto en el bienestar de una comunidad. Cuando los hombres tienen acceso a un mingitorio, suelen orinar con menos frecuencia en público, lo que reduce los olores no deseados y hace que las mujeres se sientan más cómodas. En general, los hombres han aceptado los mingitorios sin agua, ya que no requieren ningún cambio de comportamiento.

**Operación y mantenimiento** El mantenimiento es sencillo, pero debe realizarse con frecuencia, especialmente para los mingitorios sin agua. Todas las superficies deben limpiarse con regularidad (tazón, losa y pared) para evitar olores y minimizar la formación de manchas.

En particular, en los mingitorios sin agua, algunos minerales y algunas sales con base de calcio y magnesio pueden precipitarse y acumularse en las tuberías y las superficies donde la orina está presente de modo constante. Lavar el recipiente con un ácido suave (por ejemplo, vinagre) o agua caliente puede prevenir la acumulación de depósitos e incrustaciones minerales. Para la eliminación de obstrucciones se puede usar un ácido más fuerte (> 24% acético) o una solución de soda cáustica (dos partes de agua y una parte de soda). Sin embargo, en algunos casos podría necesitarse extracción manual.

Para mingitorios sin agua es fundamental revisar de manera regular el funcionamiento del sello de olor.

#### **Pros y contras**

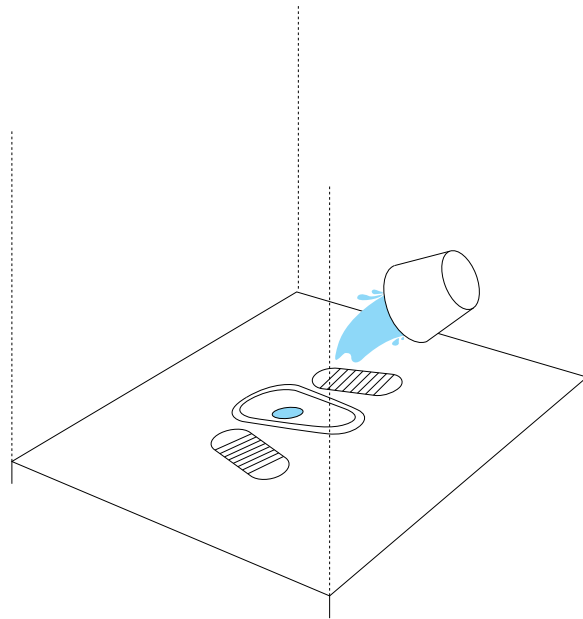
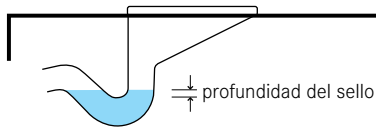
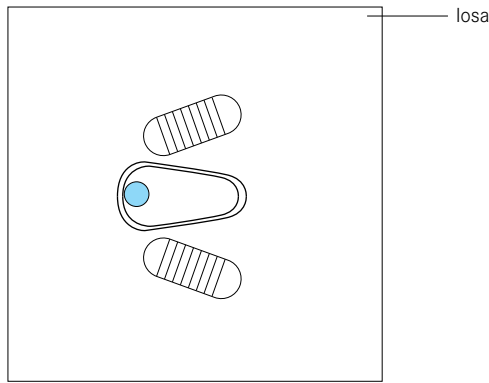
- + El mingitorio sin agua no requiere una fuente constante de líquido.
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Requiere poco capital y bajos costos de operación.
- Podría haber problemas con olores si no se usa y se mantiene correctamente.
- Los modelos para mujeres no están ampliamente disponibles.

#### **Referencias y lecturas adicionales**

- Austin, A., y L. Duncker (2002), *Urine-Diversion. Ecological Sanitation Systems in South Africa*, CSIR, Pretoria, Sudáfrica. (Instrucciones para construir un mingitorio sencillo usando un contenedor plástico de 5 L.)
- Münch, E. von, y P. Dahm (2009), *Waterless Urinals: A Proposal to Save Water and Recover Urine Nutrients in Africa*, 34<sup>th</sup> WEDC International Conference. Addis Ababa, Etiopía. Disponible en [wedc-knowledge.lboro.ac.uk](http://wedc-knowledge.lboro.ac.uk).
- Münch, E. von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- NWP (2006), *Smart Sanitation Solutions. Examples of Innovative, Low-Cost Technologies for Toilets, Collection, Transportation, Treatment and Use of Sanitation Products*, Netherlands Water Partnership, La Haya, Países Bajos. Disponible en [www.ircwash.org](http://www.ircwash.org).

**Entradas:**  Heces  Orina  Agua de arrastre  
( Agua de limpieza anal)( Materiales secos de limpieza)

**Salidas:**  Aguas negras



**Un sanitario con arrastre hidráulico es similar a un sanitario de tanque (U.5), excepto que el agua es vertida por el usuario, en lugar de provenir del tanque. Cuando el suministro de agua no es continuo, cualquier sanitario de tanque puede convertirse en un sanitario con arrastre hidráulico.**

Al igual que un sanitario de tanque, el sanitario con arrastre hidráulico tiene un sello de agua que evita que los olores y las moscas vuelvan por la tubería. El agua se vierte en el recipiente para vaciar el sanitario de excretas; en general, bastan 2 a 3 L. La cantidad y la fuerza del agua (a menudo ayuda que sea vertida desde cierta altura) deben ser suficientes para mover las excretas hacia arriba y sobre la curvatura donde se encuentra el sello de agua. Tanto el pedestal como las losas para ponerse en cuclillas pueden usarse en modo de descarga del agua de arrastre. Debido a la demanda, los fabricantes locales se han vuelto cada vez más eficientes en la producción en masa de recipientes y sanitarios con arrastre hidráulico asequibles.

**Consideraciones de diseño** El sello de agua en el fondo del recipiente o sanitario con arrastre hidráulico

debe tener una pendiente al menos de 25°. Los sellos de agua deben ser de plástico o de cerámica para evitar obstrucciones y facilitar la limpieza (el concreto puede obstruirse más fácilmente si es rugoso o texturizado). La forma en S del sello de agua determina cuánta agua es necesaria para el arrastre. La profundidad óptima de la cabeza del sello de agua es de unos 2 cm, para minimizar el flujo de agua necesaria para arrastrar las excretas. La trampa debe ser aproximadamente de 7 cm de diámetro.

**Idoneidad** El sanitario con arrastre hidráulico es apropiado para quienes se sientan o se ponen en cuclillas (pedestal o losa), así como para quienes se limpian con agua. Sin embargo, sólo es apropiado cuando se dispone de un suministro constante de agua. El sanitario con arrastre hidráulico requiere (mucho) menos agua que un sanitario tradicional de tanque. Sin embargo, dado que utiliza una menor cantidad de agua, el sanitario con arrastre hidráulico puede obstruirse más fácilmente y, por lo tanto, requiere más mantenimiento.

Si hay disponibilidad de agua, este tipo de sanitario es apropiado para aplicaciones privadas y públicas.

**Aspectos de salud/aceptación** El sanitario con arrastre hidráulico (o recipiente para ponerse en cuclillas) impide a los usuarios ver u oler las excretas de los usuarios anteriores. Por lo tanto, suele ser aceptado. Siempre y cuando el sello de agua esté funcionando bien no debería haber malos olores, y el sanitario deberá estar limpio y ser cómodo.

**Operación y mantenimiento** En vista de que no tiene partes mecánicas, el sanitario con arrastre hidráulico es muy fuerte y rara vez requiere de reparación. A pesar de que es un sanitario a base de agua debe limpiarse con regularidad para mantener la higiene y evitar la acumulación de manchas. Para disminuir el uso de agua para el arrastre y evitar que se obstruya, se recomienda que los materiales secos de limpieza y los productos empleados para la higiene menstrual sean recolectados por separado y no vaciados por el sanitario.

#### Pros y contras

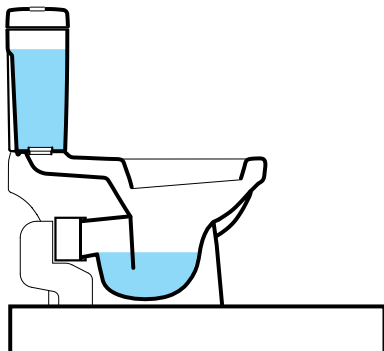
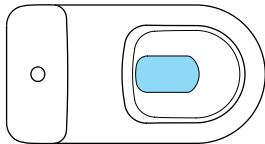
- + El sello de agua previene olores con eficacia.
- + Las excretas de un usuario son arrastradas antes de que llegue el siguiente usuario.
- + Es adecuado para todo tipo de usuario (sentado, en cuclillas, lavadores, limpiadores).
- + Requiere poco capital y bajos costos de operación; los costos de operación dependen del precio del agua.
- Requiere una fuente constante de agua (puede ser agua reciclara o agua de lluvia recolectada).
- Requiere materiales y habilidades para su producción que no están disponibles en todas partes.
- Los materiales secos de limpieza gruesos pueden obstruir el sello de agua.

#### Referencias y lecturas adicionales

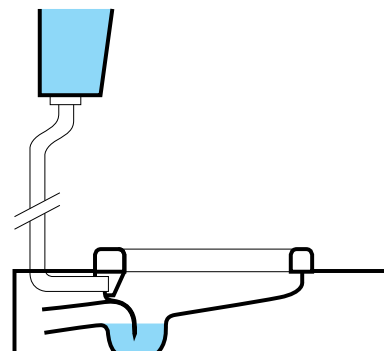
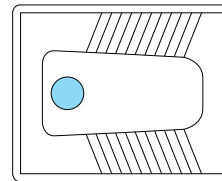
- Mara, D. D. (1985), *The Design of Pour-Flush Latrines*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*. Wiley, Chichester, Reino Unido. (Proporciona ilustraciones detalladas de la losa de fibra de vidrio y la trampa con dimensiones y criterios críticos de diseño utilizados en India. Incluye una descripción acerca de cómo modificar un inodoro con arrastre hidráulico a uno con tanque.)
- Roy, A. K., P. K. Chatterjee, K. N. Gupta, S. T. Khare, B. B. Rau y R. S. Singh, R. S. (1984), *Manual on the Design, Construction and Maintenance of Low-Cost Pour-Flush Waterseal Latrines in India*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Provee especificaciones para inodoros con arrastre hidráulico y sus conexiones.)

**Entradas:** ● Heces ● Orina ● Agua de arrastre  
● Agua de limpieza anal ● Materiales secos de limpieza)

**Salidas:** ● Aguas negras



opción 1



opción 2

**El sanitario de tanque suele ser una interfase con el usuario hecha de porcelana, producida en serie y en una fábrica. El sanitario consiste en un tanque de agua que suministra el agua para arrastrar las excretas y un recipiente en el cual se depositan.**

La característica atractiva del sanitario de tanque es que incorpora un complejo sello de agua para evitar que los malos olores reaparezcan a través de las tuberías. El agua que es almacenada en la cisterna sobre la taza del sanitario se libera al empujar o tirar de una palanca o cadena. Esto permite que el agua corra en el recipiente, mezclada con las excretas, para ser desechada.

**Consideraciones de diseño** Los sanitarios modernos usan de 6 a 9 L por descarga, mientras que los modelos más antiguos fueron diseñados hasta para 20 L de agua de arrastre. Actualmente hay diferentes sanitarios de bajo volumen que pueden usarse con tan sólo 3 L de agua por descarga. En algunos casos, el volumen de agua utilizado por descarga no es suficiente para vaciar la taza, por lo que el usuario debe jalar la palanca dos o más veces para limpiarla adecuadamente —esto contradice la intención de ahorro de agua—.

Se necesita un buen fontanero para instalar un sanitario de tanque. El fontanero debe garantizar que todas las válvulas estén debidamente conectadas y selladas, para minimizar las fugas.

**Idoneidad** Un sanitario de tanque no debe considerarse a menos que todos los elementos de ferretería y las conexiones estén disponibles localmente. El sanitario de tanque debe conectarse a una fuente de agua constante para el arrastre, y a una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento que reciba las aguas negras.

El sanitario de tanque se puede emplear en instalaciones privadas y públicas.

**Aspectos de salud/aceptación** Es un sanitario cómodo y seguro de usar, siempre y cuando se mantenga limpio.

**Operación y mantenimiento** Aunque el agua de arrastre enjuaga el recipiente de manera continua, el sanitario debe ser limpiado con regularidad para mantener la higiene y evitar la acumulación de manchas. Se necesita mantenimiento para reemplazar o reparar

algunas partes mecánicas o accesorios. Los productos de higiene menstrual deben ser recolectados en un recipiente por separado.

### **Pros y contras**



- + Las excretas de un usuario son removidas antes de que llegue el siguiente usuario.
- + No hay problema con los malos olores si se usa correctamente.
- + Es adecuado para todo tipo de usuarios (los que hacen sentados, los que hacen en cuclillas, los que se limpian con papel y los que se limpian con agua).
- Requiere capital; los costos de operación dependen del precio del agua.
- Requiere una fuente constante de agua.
- No puede ser construido ni reparado localmente con los materiales disponibles.

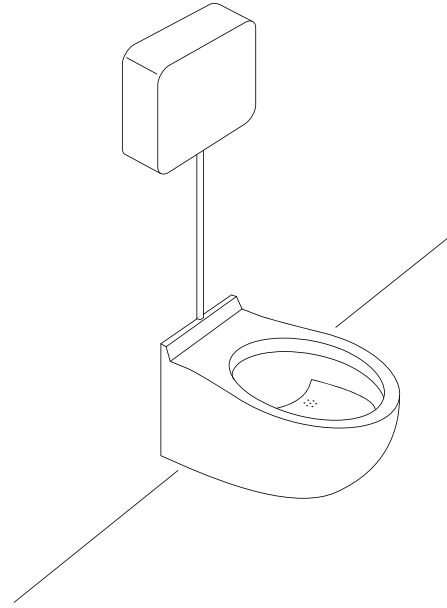
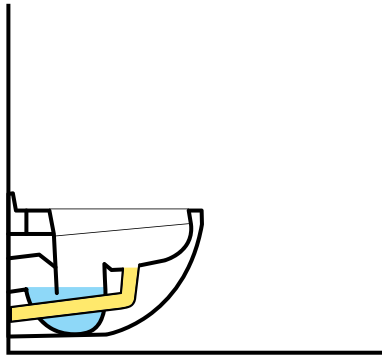
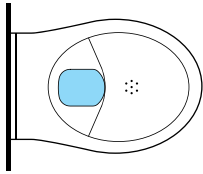
### **Referencias y lecturas adicionales**

---

- Maki, B. (2005), *Assembling and Installing a New Toilet*, Hammerzone.com.  
Disponible en [www.hammerzone.com](http://www.hammerzone.com).  
(Describe cómo instalar un sanitario, con fotos a color e instrucciones paso por paso.)
- Vandervort, D. (2007), *Toilets: Installation and Repair*, HomeTips.com.  
Disponible en [www.hometips.com/bathroom\\_toilets.html](http://www.hometips.com/bathroom_toilets.html).  
(Describe con detalle cada parte del sanitario y provee hipervínculos a otras herramientas sobre cómo instalar un sanitario y cómo arreglar una fuga, entre otros.)

**Entradas:**  Heces  Orina  Agua de arrastre  
( Agua de limpieza anal)( Materiales secos de limpieza)

**Salidas:**  Aguas cafés  Orina



El sanitario de tanque con desviación de orina (UDFT) en apariencia es similar a un sanitario de tanque (U.5), excepto por el desvío en la taza. La taza del sanitario tiene dos secciones para que la orina se pueda separar de las heces. Existen modelos para sentarse o para ponerse en cuclillas.

La orina es recolectada en un desagüe en la parte delantera del sanitario, y las heces son recolectadas en la parte posterior. La orina es recolectada sin agua, pero se usa una pequeña cantidad para enjuagar el recipiente de recolección de orina cuando se lava el sanitario. La orina fluye hacia un tanque de almacenamiento para su posterior uso o procesamiento, mientras que las heces son arrastradas con agua para ser tratadas.

**Consideraciones de diseño** El sistema requiere plomería dual. esto es, tubería separada para la orina y las aguas cafés (heces, materiales secos de limpieza y agua de arrastre). El sanitario debe instalarse cuidadosamente, entendiendo cómo y dónde se producen obstrucciones, para poder prevenirlas y retirarlas fácilmente. Para la descarga de orina pueden utilizarse tubos de plástico para prevenir la corrosión. Para limi-

tar las incrustaciones, todas las conexiones (tuberías) para los tanques de almacenamiento deben mantenerse tan cortas como sea posible; cuando existan, deben instalarse tuberías al menos con 1% de pendiente y se deben evitar los ángulos agudos (90°). Un diámetro de 50 mm es suficiente para pendientes pronunciadas, donde el mantenimiento sea fácil. En otros lugares, especialmente en pendientes mínimas o donde el acceso es difícil, deberían usarse tubos de mayor diámetro (> 75 mm).

**Idoneidad** Un UDFT es adecuado cuando hay suficiente agua para el arrastre, una tecnología de tratamiento para las aguas cafés y un uso para la orina recolectada. Para mejorar la eficiencia en la derivación se recomiendan mingitorios (U.3) para los hombres.

Los UDFT son adecuados en instalaciones privadas y públicas, aunque se necesita crear conciencia y entrenamiento significativo para garantizar el uso óptimo y minimizar las obstrucciones en lugares públicos.

Puesto que esta tecnología requiere tubos separados para la recolección de orina y de aguas cafés, la tubería es más complicada que la de un sanitario de tanque simple. En particular, el diseño e instalación adecuados

de los tubos para orina es fundamental y requiere experiencia.

**Aspectos de salud/aceptación** Las tarjetas y los diagramas con información son esenciales para garantizar el uso correcto y promover la aceptación de estos sanitarios; si los usuarios entienden por qué la orina se separa, estarán más dispuestos a emplear correctamente el UDFT. La plomería apropiada garantizará que no haya malos olores.

**Operación y mantenimiento** Al igual que con cualquier otro sanitario, la limpieza apropiada es importante para mantener la taza limpia y evitar que se formen manchas. Debido a que la orina es recolectada por separado, algunos minerales y sales con base de calcio y magnesio pueden precipitarse y acumularse en las tuberías y los acoples. Lavar el recipiente con un ácido suave (por ejemplo, vinagre) o agua caliente puede prevenir la acumulación de depósitos e incrustaciones minerales. Para la eliminación de obstrucciones se puede usar un ácido más fuerte (> 24% acético) o una solución de soda cáustica (dos partes de agua y una parte de soda). Sin embargo, en algunos casos podría necesitarse extracción manual.

#### Pros y contras

- + Requiere menos agua que un sanitario de tanque tradicional.
- + No hay problema con los malos olores si se usa correctamente.
- + Se parece y puede ser utilizado casi como un sanitario de tanque.
- Su disponibilidad es limitada; no puede ser construido ni reparado localmente.
- Requiere un alto costo de inversión; los costos de operación dependen de los repuestos y del mantenimiento.
- Necesita mantenimiento intensivo en mano de obra.
- Requiere entrenamiento y aceptación para ser utilizado correctamente.
- Es propenso a maltratos y obstrucciones.
- Requiere una fuente constante de agua.
- Los hombres generalmente requieren un mingitorio por separado para una óptima recolección de la orina.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Kvarnström, E., K. Emilsson, A. Richert Stintzing, M. Johansson, H. Jönsson, E. af Petersens, C. Schönning, J. Christensen, D. Hellström, L. Qvarnström, P. Ridderstolpe y J.-O. Drangert (2006), *Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation*, Report 2006-1, EcoSanRes: Ecosan Publications Series, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Larsen, T. A., y J. Lienert (2007), *Novaquatis Final Report. No-Mix - A New Approach to Urban Water Management*, Eawag, Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.novaquatis.eawag.ch](http://www.novaquatis.eawag.ch).
- Münch, E. Von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Winker, M., y A. Saadoun (2011), *Urine and Brownwater Separation at GTZ Main Office Building Eschborn, Germany - Case Study of Sustainable Sanitation Projects*, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA), Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).





Esta sección describe las tecnologías para recolectar y almacenar los productos generados en la interfase de usuario. Algunas de las tecnologías presentadas aquí están diseñadas específicamente para tratamiento, mientras que otras están delineadas para recolección y almacenamiento. Estas últimas también proporcionan cierto grado de tratamiento, dependiendo del tiempo y las condiciones de almacenamiento. El tratamiento proporcionado por las tecnologías S suele ser pasivo (por ejemplo, no requiere energía). Cuatro de las tecnologías destacadas son tecnologías de pozos/cámaras alternas (S.4-S.7). Debido al periodo de almacenamiento implícito en el diseño de estas tecnologías existe una amenaza reducida de contaminación. Por lo tanto, pueden ser vaciadas de manera manual.

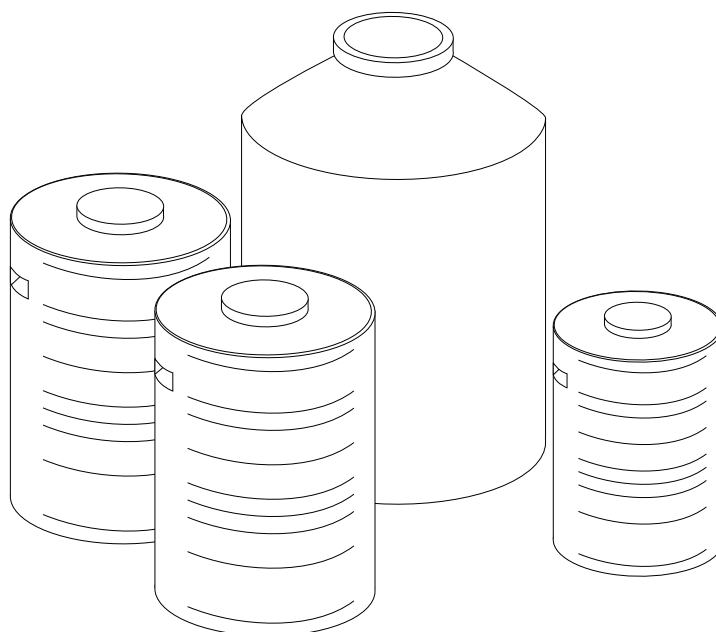
- S.1 Tanque/Contenedor de orina
- S.2 Cámara simple
- S.3 Cámara simple mejorada ventilada (VIP por sus siglas en inglés)
- S.4 Cámara doble mejorada ventilada (VIP por sus siglas en inglés)
- S.5 Fosa alterna
- S.6 Cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico
- S.7 Cámara de deshidratación
- S.8 Cámara de compostaje
- S.9 Tanque (o fosa) séptica
- S.10 Reactor anaerobio con deflectores (ABR por sus siglas en inglés)
- S.11 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA por sus siglas en inglés)
- S.12 Reactor de biogás

En cualquier contexto la elección de la tecnología generalmente depende de los siguientes factores:

- Disponibilidad de espacio
- Características de suelo y acuíferos
- Tipo y cantidad de productos del afluente
- Disponibilidad local de materiales
- Productos de efluente deseados
- Disponibilidad de tecnologías para el posterior transporte
- Recursos financieros
- Consideraciones de manejo
- Preferencias del usuario



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Orina
<input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Compartido <input type="checkbox"/> Público	<b>Salidas:</b>  Orina almacenada



**Cuando la orina no se puede usar inmediatamente o ser transportada por medio de una tecnología de conducción (esto es, bidones; véase C.1), puede almacenarse en el sitio en contenedores o tanques. El tanque de almacenamiento luego debe moverse o vaciarse en otro contenedor para su transporte.**

El tanque de orina debe ser del tamaño apropiado para acomodar a los usuarios y contar con el tiempo necesario para esterilizar la orina. Las pautas de almacenamiento de orina corresponden a la temperatura de almacenamiento y a la cosecha para la cual se usará como fertilizante; no obstante, toda orina debe ser almacenada al menos durante un mes antes de su uso (véase los lineamientos de la OMS para almacenamiento y aplicación). Si la orina de una familia se utiliza para fertilizar cultivos para su consumo puede ser empleada directamente, sin almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento de menor volumen pueden ser usados y transportados a otro tanque de almacenamiento centralizado en o cerca del punto de uso (es decir, la finca).

**Consideraciones de diseño** En promedio, una persona genera 1.2 L de orina al día; sin embargo, esta can-

tidad puede variar significativamente dependiendo del consumo de líquidos y del clima. Los tanques de almacenamiento móviles deben ser fabricados de plástico o fibra de vidrio, pero los permanentes pueden ser de concreto o plástico. Se debe evitar el metal, ya que puede corroerse fácilmente por el alto pH de la orina almacenada.

Con el tiempo se formará una capa de lodo orgánico y de sales minerales precipitadas (principalmente calcio y fosfatos de magnesio) en el fondo del tanque. Cualquier tanque usado para almacenamiento de orina debe tener una abertura lo suficientemente grande para poder ser limpiado y bombeado.

Ni el tanque de almacenamiento ni los tubos de recolección deben ventilarse, para evitar olorosas emisiones de amoníaco, pero tienen que ser homogeneizados con la misma presión.

Si el tanque de almacenamiento está conectado directamente con un tubo al sanitario u mingitorio, debe minimizarse la longitud de la tubería, puesto que los precipitados se acumularán. Las tuberías deben poseer una pendiente pronunciada (> 1%), no tener ángulos agudos y contar con grandes diámetros (hasta 110 mm para tuberías subterráneas). Deben ser fácilmente accesibles en caso de bloqueos.

Para minimizar los malos olores y la pérdida de nitrógeno el tanque debe llenarse desde el fondo; en otras palabras, la orina debe fluir hacia abajo a través de una tubería y ser liberada cerca del fondo del tanque. Esto evitará la aspersión de orina y el reflujo de aire.

**Idoneidad** Los tanques de almacenamiento de orina son más apropiados cuando se necesitan nutrientes del fertilizante para la agricultura, que pueden ser suministrados por la orina almacenada. Cuando no hay esa necesidad, la orina puede llegar a ser una fuente de contaminación y una molestia.

Los tanques de almacenamiento de orina pueden utilizarse prácticamente en cualquier entorno; deben estar bien sellados para evitar fugas, pérdida de nitrógeno e infiltración. Pueden ser instalados en interiores, al aire libre, por encima de la tierra y por debajo de la tierra, dependiendo del clima, el espacio disponible y el suelo.

**Aspectos de salud/aceptación** El almacenamiento a largo plazo es la mejor manera de esterilizar la orina sin la adición de productos químicos o procesos mecánicos. El riesgo de transmisión de enfermedades por orina almacenada es bajo. El almacenamiento prolongado por más de seis meses ofrece casi una total desinfección.

**Operación y mantenimiento** Si se vacía el tanque de almacenamiento empleando un camión aspirador (véase C.3), la entrada de aire debe mantenerse en un buen nivel para garantizar que el tanque no implosione debido a la aspiración. Un lodo viscoso se acumulará en el fondo del tanque de almacenamiento. Cuando el tanque de almacenamiento se vacía, el lodo suele evacuarse junto con la orina, pero si se usa un grifo y el tanque no se vacía por completo, puede requerir desenlodado. El periodo de desenlodado dependerá de la composición de la orina y de las condiciones de almacenamiento.

La acumulación de minerales y sales en el tanque o en las tuberías de conexión se puede quitar manualmente (a veces con dificultad) o disolverse con algún ácido fuerte (24% acético).

### Pros y contras

- + Tecnología fuerte y sencilla.
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- + La orina almacenada puede ser usada como fertilizante.
- + Requiere un terreno pequeño.
- + Ningún o bajo costo de operación si se vacía por sí solo.
- Mal olor de leve a fuerte cuando se abre o se vacía el tanque.
- El costo de inversión puede ser alto (dependiendo del tamaño y el material del tanque).
- Puede requerir vaciado frecuente (dependiendo del tamaño del tanque).

### Referencias y lecturas adicionales

- Kvarnström, E., K. Emilsson, A. Richert Stintzing, M. Johansson, H. Jönsson, E. af Petersens, C. Schönning, J. Christensen, D. Hellström, L. Qvarnström, P. Ridderstolpe y J.-O. Drangert (2006), *Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation*, Report 2006-1, EcoSanRes: Ecosan Publications Series, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Münch, E. Von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).

**Nivel de aplicación:**

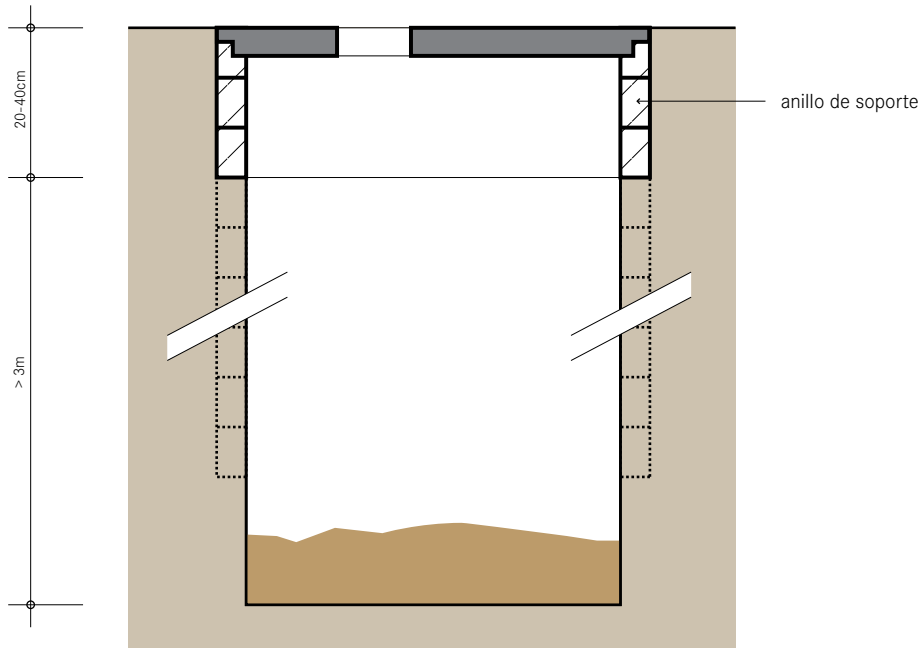
- ★★ Vivienda
- ★ Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- Público

**Entradas:** Excretas (■) Aguas negras (■) Heces (■)  
(+ Agua de limpieza anal) (+ Materiales secos de limpieza)

**Salidas:** Lodo (■)



**La cámara simple es una de las tecnologías de saneamiento más usadas. Las excretas, junto con los materiales de limpieza anal (agua o sólidos), se depositan en una cámara. Revestir la cámara impide que colapse y ayuda a sostener la superestructura.**

Conforme se llena la cámara simple, dos procesos limitan la tasa de acumulación: la lixiviación y la degradación. La orina y el agua se filtran hacia el suelo a través del fondo de la cámara y de la pared, mientras que la acción microbiana degrada parte de la fracción orgánica.

**Consideraciones de diseño** En promedio, los sólidos se acumulan a un ritmo de 40 a 60 L por persona/año y hasta 90 L por persona/año si se utilizan materiales secos de limpieza como hojas o papel. La cámara debe diseñarse para contener un volumen por lo menos de 1 000 L. Típicamente, la cámara al menos tiene 3 m de profundidad y 1 m de diámetro. Si el diámetro de la cámara es superior a 1.5 m existe un mayor riesgo de que colapse. Dependiendo de qué tan profundo se excaven, algunas cámaras pueden estar 20 o más años sin ser vaciadas. Para evitar la contaminación de los acuíferos el fondo de la cámara debe estar por lo me-

nos a 2 m sobre el nivel del acuífero (como regla general). Si la cámara se va a reutilizar debe ser revestida. Los materiales para revestir la cámara pueden incluir ladrillo, madera resistente a la putrefacción, concreto (hormigón), piedra o mortero estucado en el suelo. Si el suelo es estable (es decir, sin presencia de depósitos de arena, grava o materiales orgánicos sueltos), la cámara no necesita ser revestida. El fondo de la cámara debe permanecer sin revestimiento para permitir la infiltración de los líquidos fuera de la cámara.

Conforme el líquido se filtra desde la cámara y migra a través de la matriz de tierra no saturada, algunos gérmenes patógenos son absorbidos hacia la superficie del suelo. De esta manera es posible eliminar los patógenos antes de que entren en contacto con los acuíferos. El grado de eliminación varía según el tipo de suelo, la distancia recorrida, la humedad y otros factores ambientales y, por lo tanto, es difícil estimar la distancia necesaria entre una cámara y una fuente de agua. Normalmente, se recomienda una distancia mínima horizontal de 30 m para limitar la exposición a contaminación microbiana.

Cuando no es posible cavar una cámara profunda o el nivel freático es muy alto, una cámara elevada puede

ser una opción viable: la cámara superficial puede ser extendida al construirse hacia arriba, con el uso de anillos o bloques de concreto. Una cámara elevada también puede construirse en una zona donde las inundaciones son frecuentes, para mantener el agua fuera de la cámara durante las fuertes lluvias. Otra variación es la cámara superficial sin revestimiento, que puede ser apropiada para áreas donde es difícil cavar. Cuando la cámara superficial está llena, puede cubrirse con hojas y tierra, y sembrarse un pequeño árbol (véase ArborLoo, D.1).

Una cámara mejorada ventilada (VIP, S.3) es un poco más costosa que una cámara simple, pero reduce las molestias de moscas y malos olores, al tiempo que aumenta la comodidad.

Si se utiliza una interfase de usuario con separador de orina, sólo las heces son recolectadas en la cámara y se puede minimizar la lixiviación.

**Idoneidad** Los procesos de tratamiento en una cámara simple (aerobios, anaerobios, deshidratación, compostaje o cualquier otro) son limitados y, por lo tanto, la reducción de patógenos y la degradación orgánica no son significativas. Sin embargo, dado que las excretas están contenidas, la transmisión de patógenos al usuario es limitada.

Las cámaras simples son apropiadas para zonas periurbanas y rurales; en zonas densamente pobladas suele ser difícil vaciarlas o tener suficiente espacio para la infiltración. Las cámaras simples son particularmente apropiadas cuando el agua escasea y donde hay una capa freática baja. No son adecuadas para suelos rocosos o compactados (difíciles de excavar), ni para áreas que se inundan con frecuencia.

**Aspectos de salud/aceptación** Una cámara simple constituye una mejora en comparación con la defecación al aire libre; sin embargo, aún plantea riesgos para la salud:

- El lixiviado puede contaminar los acuíferos.
- El agua estancada en las cámaras puede promover la cría de insectos.
- Las cámaras son susceptibles a fallas o desbordamientos durante las inundaciones.

Las cámaras simples deben construirse a una distancia apropiada de las viviendas para minimizar las molestias por moscas y malos olores, y para garantizar la seguridad y conveniencia.

**Operación y mantenimiento** La cámara simple no requiere mantenimiento diario, con la excepción de la limpieza normal de las instalaciones. Sin embargo,

cuando la cámara está llena es posible: *a)* bombear y reutilizar, o *b)* mover la superestructura y la losa para ponerse en cuclillas a una nueva cámara, y cubrir o desarmar la cámara anterior, lo cual sólo es recomendable si se dispone de mucho terreno.

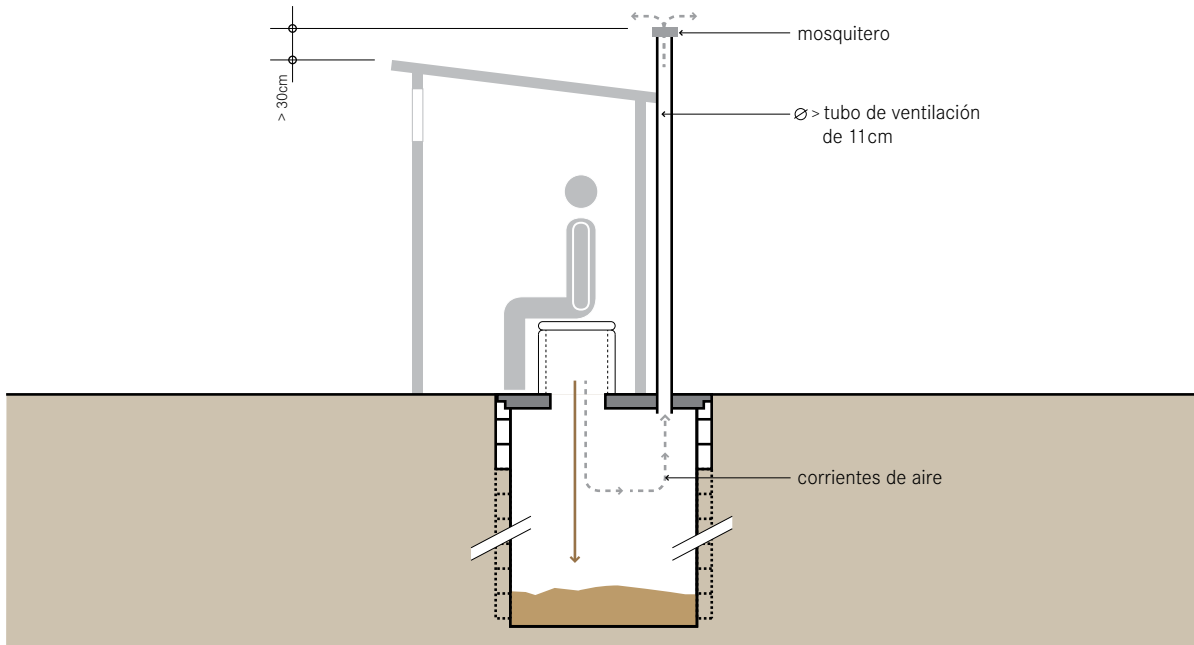
### Pros y contras

- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Requiere un costo de inversión bajo (pero variable), dependiendo de la profundidad de la cámara y de los materiales.
- + Requiere un terreno pequeño.
- Las moscas y los malos olores normalmente se notan.
- Hay baja reducción en DBO y patógenos, con posible contaminación de acuíferos.
- Los costos de vaciado pueden ser significativos en comparación con los costos de capital.
- El lodo requiere tratamiento secundario y/o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- ARGOS (2001), *Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from on-Site Sanitation*, British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142, Keyworth, Reino Unido. Disponible en [www.bgs.ac.uk](http://www.bgs.ac.uk).
- Brandberg, B. (1997), *Latrine Building. A Handbook for Implementation of the Sanplat System*, Intermediate Technology Publications, Londres, Reino Unido. (Buen resumen de problemas comunes en la construcción y cómo evitarlos.)
- Franceys, R., J. Pickford y R. Reed (1992), *A Guide to the Development of on-Site Sanitation*, OMS, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library). (Para información sobre tasas de acumulación e infiltración, construcción general y ejemplos de cálculos de diseños.)
- Graham, J. P., y M. L. Polizzotto (2013), *Pit Latrines and Their Impacts on Groundwater Quality: A Systematic Review. Environmental Health Perspectives, National Institute of Environmental Health Sciences*, Research Triangle Park, Estados Unidos. Disponible en [www.ehponline.org](http://www.ehponline.org).
- Pickford, J. (1995), *Low Cost Sanitation. A Survey of Practical Experience*, Intermediate Technology Publications, Londres, Reino Unido. (Información sobre cómo calcular el tamaño de la cámara y la vida útil de la tecnología.)
- Robens Institute (1996), *Fact Sheets on Environmental Sanitation. Fact Sheet 3.4: Simple Pit Latrines*, University of Surrey, Reino Unido, y OMS, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Excretas (■) Aguas negras (■) Heces (■) (+ Agua de limpieza anal) (+ Materiales secos de limpieza)
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Compartido <input checked="" type="checkbox"/> Público	<b>Salidas:</b> Lodo (■)



**La cámara simple mejorada ventilada (VIP) es una mejora de la cámara simple (S.2) porque el flujo de aire continuo a través del tubo ventila los malos olores y actúa como una trampa para moscas cuando éstas se escapan hacia la luz.**

A pesar de su sencillez, los VIP bien diseñados pueden ser libres de malos olores y más agradables de usar que algunas otras tecnologías a base de agua.

Las moscas que incuban en la cámara se sienten atraídas por la luz en la parte superior del tubo de ventilación. Cuando vuelan hacia la luz y tratan de escapar, quedan atrapadas en la rejilla y mueren. La ventilación también permite que escapen los malos olores y minimiza la atracción para las moscas.

**Consideraciones de diseño** El tubo de ventilación debe tener un diámetro interno al menos de 110 mm y alcanzar más de 300 mm por encima del punto más alto de la superestructura del sanitario. El viento que pasa sobre la parte superior crea una presión de succión dentro del tubo de ventilación e induce la circulación de aire. El aire pasa a través de la interfase de usuario hasta la cámara se mueve hacia arriba dentro del tubo de

ventilación y escapa a la atmósfera. Debe tenerse cuidado de que objetos, tales como árboles o viviendas, no interfieran con la corriente de aire. La ventilación funciona mejor en zonas ventosas, pero cuando hay poco viento su eficacia puede mejorarse si el tubo se pinta de negro. La diferencia de calor entre la cámara (fresco) y la ventilación (tibio) crea una corriente ascendente que arroja el aire y los malos olores para arriba y afuera de la cámara. Para probar la eficacia de la ventilación se puede encender un cigarrillo y sostenerlo sobre la interfase de usuario; el humo será jalado hacia abajo en la cámara y luego hacia arriba por el tubo de ventilación, y no permanecerá en la superestructura.

El tamaño de la rejilla para moscas debe ser lo suficientemente grande para evitar que se obstruya con polvo y para permitir que el aire circule libremente. Las rejillas de aluminio, con agujeros de 1.2 a 1.5 mm, han demostrado ser las más eficaces. Generalmente, la cámara es por lo menos de 3 m de profundidad y 1 a 1.5 m de diámetro, dependiendo del número de usuarios. Las cámaras profundas pueden durar 20 años o más.

Conforme el líquido se filtra desde la cámara y migra a través de la matriz de tierra no saturada, algunos gérmenes patógenos son absorbidos hacia la superficie del

suelo. De esta manera es posible eliminar los patógenos antes de que entren en contacto con los acuíferos. El grado de eliminación varía según el tipo de suelo, la distancia recorrida, la humedad y otros factores ambientales y, por lo tanto, es difícil estimar la distancia necesaria entre una cámara y una fuente de agua. Normalmente, se recomienda una distancia mínima horizontal de 30 m entre la cámara y la fuente de agua, y de 2 m entre el fondo de la cámara y el acuífero para limitar la exposición a contaminación microbiana.

Cuando no es posible cavar una cámara profundo o el nivel freático es muy alto, una cámara elevada puede ser una opción viable: la cámara superficial puede ser extendida al construirse hacia arriba con el uso de anillos o bloques de concreto. Una cámara elevada también puede construirse en una zona donde las inundaciones son frecuentes, para mantener el agua fuera de la cámara durante las lluvias fuertes.

Un sanitario VIP simple puede ser convertido en un sanitario VIP doble (S.4). Un VIP doble tiene una cámara extra para que, mientras uno está en uso, los contenidos de la cámara llena puedan drenar, madurar y degradarse. Si se usa una interfase de usuario con separador de orina sólo las heces son recolectadas en la cámara y se puede minimizar la lixiviación.

**Idoneidad** Los procesos de tratamiento en un VIP simple (aerobios, anaerobios, deshidratación, compostaje o cualquier otro) son limitados y, por lo tanto, la reducción de patógenos y la degradación orgánica no son significativas. Sin embargo, dado que las excretas están contenidas, la transmisión de patógenos al usuario es limitada. Esta tecnología constituye una mejora significativa de las cámaras simples o de la defecación al aire libre. Los VIP simples son apropiados para zonas periurbanas y rurales; en áreas densamente pobladas son difíciles de vaciar y/o no tienen suficiente espacio para la infiltración. Los VIP son apropiados sobre todo cuando el agua es escasa y donde hay una capa freática baja. Deben ser ubicados en un área con buena brisa para garantizar una ventilación efectiva. No son adecuados para suelos rocosos o compactados (difíciles de excavar), ni para áreas que se inundan con frecuencia.

**Aspectos de salud/aceptación** Un VIP simple puede ser una opción de saneamiento muy limpia, cómoda y bien aceptada. Sin embargo, existen algunas preocupaciones para la salud:

- El lixiviado puede contaminar los acuíferos.
- Las cámaras son susceptibles a fallas y/o desbordamientos durante las inundaciones.

- Los riesgos para la salud por moscas no se eliminan completamente con la ventilación.

**Operación y mantenimiento** Para mantener el VIP simple libre de moscas y malos olores se requiere mantenimiento y limpieza constante. Las moscas muertas, las telarañas, el polvo y otros desechos deben eliminarse de la rejilla de ventilación para garantizar un buen flujo de aire.

#### Pros y contras

- + Las moscas y los malos olores se reducen significativamente (en comparación con las cámaras sin ventilación).
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Requiere un costo de inversión bajo (pero variable), dependiendo de la profundidad de la cámara y de los materiales.
- + Requiere un terreno pequeño.
- Hay baja reducción de DBO y patógenos, con posible contaminación de acuíferos.
- Los costos de vaciado pueden ser significativos en comparación con los costos de capital.
- El lodo requiere tratamiento secundario y/o descarga apropiada.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Mara, D. D. (1984), *The Design of Ventilated Improved Pit Latrines. UNDP Interregional Project INT/81/047*, Banco Mundial y UNDP, Washington, D.C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido.  
(Proporciona información detallada del diseño.)
- Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2011), *The Blair VIP Toilet. Manual for Upgradeable BVIP Model with Spiral Superstructure and Tubular Vent*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).  
(Proporciona información detallada de diseño y construcción.)
- Ryan, B. A., y D. D. Mara, D. D. (1983), *Ventilated Improved Pit Latrines: Vent Pipe Design Guidelines*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home)  
See S.2 for additional reading materials.



**Nivel de aplicación:**

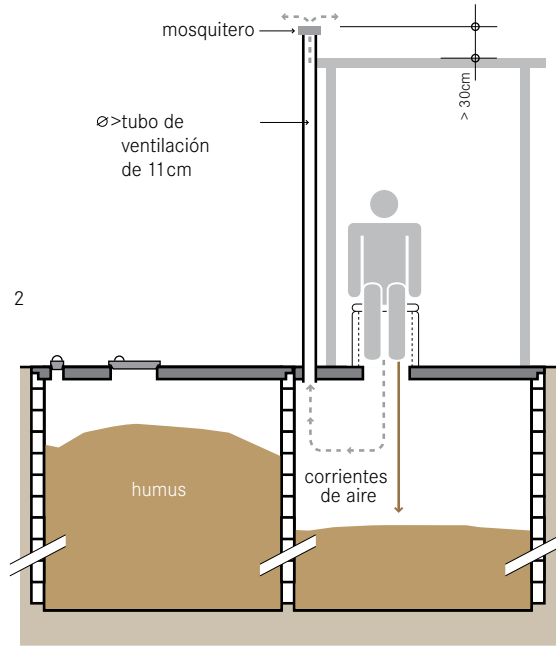
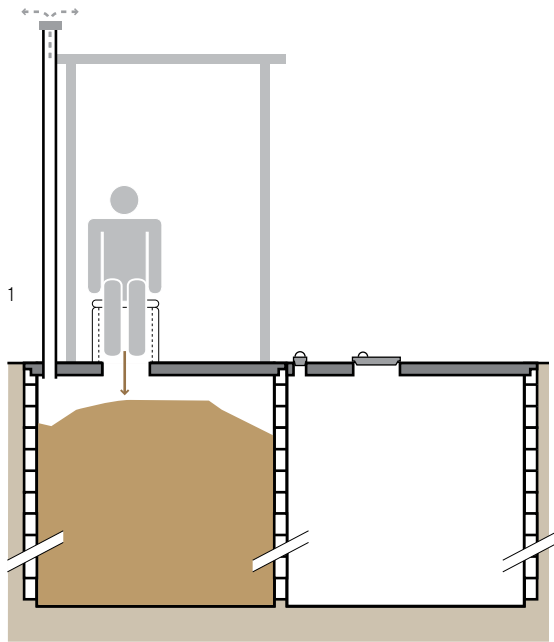
- ★★ Vivienda
- ★ Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★ Público

**Entradas:** Excretas Heces (+ Agua de limpieza anal) (+ Materiales secos de limpieza)

**Salidas:** Humus



La cámara doble mejorada ventilada (VIP) tiene casi el mismo diseño que el VIP simple (S.3), con la ventaja de que posee una segunda cámara que le permite ser usada continuamente, así como un vaciado más seguro y fácil.

Al contar con dos cámaras, una puede ser usada mientras que el contenido de la segunda reposa, dreña, se reduce en volumen y se degrada. La segunda cámara se cubre cuando está casi lleno (las excretas están a 50 cm de la parte superior de la cámara) y el contenido de la primera cámara se remueve. Debido al prolongado tiempo de reposo (al menos uno o dos después de varios años de llenado), el material dentro de la cámara estará parcialmente desinfectado y se verá parecido al humus.

**Consideraciones de diseño** La superestructura puede extenderse sobre ambas cámaras o puede estar diseñada para moverse de una cámara a otra. En cualquier caso, la cámara que no se esté llenando debe estar completamente cubierta y sellada para evitar que agua, basura, animales o personas caigan en ella. La ventilación de las dos cámaras se puede lograr utilizando un tubo de ventilación que se pueda mover entre una

cámara y otra, o equipando cada cámara con su propio tubo. Las dos cámaras en el VIP doble se usan continuamente y deben estar bien revestidos y sostenidos para garantizar su longevidad.

**Idoneidad** El VIP doble es más apropiado que el VIP simple para áreas periurbanas y más densas. Después del tiempo de reposo, el material producido, similar a tierra, se vacía manualmente (es cavado, no bombeado), por lo que no es necesario un acceso para el camión aspirador.

La tecnología de VIP doble sólo funciona correctamente si ambas cámaras se emplean de manera secuencial y no simultánea. Por lo tanto, se requiere una cubierta adecuada para la cámara que no esté en uso. Los VIP dobles son apropiados cuando el agua escasea y donde hay una capa freática baja. Deben ubicarse en una zona con buena brisa para permitir una ventilación adecuada. No son apropiados para suelos rocosos o compactados (difíciles de excavar), ni para áreas que se inundan con frecuencia.

**Aspectos de salud/aceptación** Un VIP doble puede ser una opción de saneamiento muy limpia, cómoda

y bien aceptada. Sin embargo, existen algunas preocupaciones para la salud:

- El lixiviado puede contaminar los acuíferos.
- Las cámaras son susceptibles a fallas y/o desbordamientos durante las inundaciones.
- Los riesgos para la salud por moscas no se eliminan completamente con la ventilación.

**Operación y mantenimiento** Para mantener el VIP doble libre de moscas y malos olores se requiere mantenimiento y limpieza constante. Las moscas muertas, las telarañas, el polvo y otros desechos deben eliminarse de la rejilla de ventilación para garantizar un buen flujo de aire. La cámara que no esté en uso debe sellarse bien para reducir la infiltración de agua y debe mantenerse un adecuado horario alterno.

#### Pros y contras

- + Más vida útil que la cámara simple (indefinida si se mantiene apropiadamente).
- + La excavación de humus es más fácil que la de lodos fecales.
- + Hay una significativa reducción de patógenos.
- + El material fecal almacenado tiene potencial para ser usado como acondicionador del suelo.
- + Las moscas y los malos olores se reducen significativamente (en comparación con las cámaras sin ventilación).
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- Requiere remover el humus manualmente.
- Posible contaminación de acuíferos.
- Los costos de capital son más altos que los de las cámaras simples, pero los costos de operación son menores si pueden vaciarse solas.

#### Referencias y lecturas adicionales

- \_ ARGOSS (2001), *Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from on-Site Sanitation*, British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142, Keyworth, Reino Unido, Disponible en [www.bgs.ac.uk](http://www.bgs.ac.uk).
- \_ Franceys, R., J. Pickford y R. Reed (1992), *A Guide to the Development of on-Site Sanitation*, OMS, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- \_ Graham, J. P., y M. L. Polizzotto (2013), *Pit Latrines and Their Impacts on Groundwater Quality: A Systematic Review*. *Environmental Health Perspectives*, National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, U. S. Disponible en [www.ehponline.org](http://www.ehponline.org).
- \_ Mara, D. D. (1984), *The Design of Ventilated Improved Pit Latrines*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Una buena referencia sobre información en diseño de VIP dobles.)
- \_ Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido. (Descripción general de los VIP con enfoque en el sistema de ventilación.)
- \_ Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).

**Nivel de aplicación:**

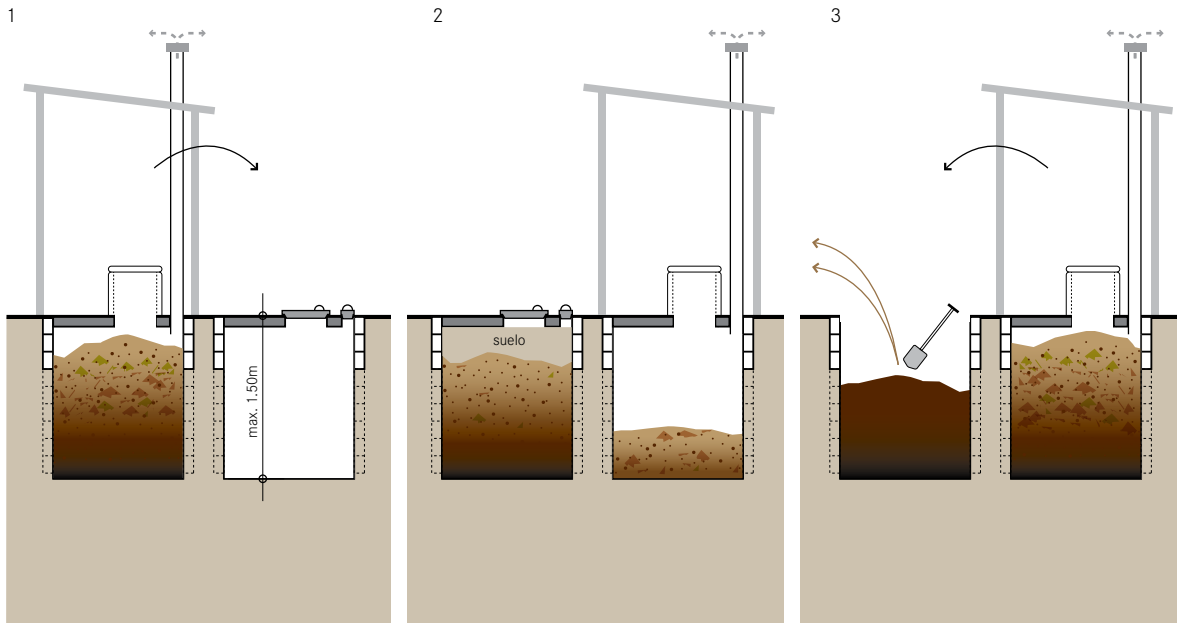
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda
- Compartido
- Público

**Entradas:**  Excretas  Heces  Orgánicos  
(+  Agua de limpieza anal) (+  Materiales secos de limpieza)

**Salidas:**  Humus



La fosa alterna es una tecnología de cámara doble y ciclo corto sin agua (seca). En comparación con el VIP doble (S.4), que sólo está diseñado para recolectar, almacenar y tratar parcialmente las excretas, la fosa alterna está diseñada para generar un producto similar a la tierra, que puede ser usado como acondicionador rico en nutrientes para el suelo. La fosa alterna se cava a una profundidad máxima de 1.5 m y requiere un afluente constante de material de cubierta (tierra, ceniza u hojas).

Debe agregarse material de cubierta a la cámara después de la defecación (no así después de la orina). Las hojas y la tierra introducen una variedad de organismos, como lombrices, bacterias y hongos, que ayudan en el proceso de degradación. También aumenta el espacio entre los poros, lo que permite condiciones aerobias. Además, la ceniza ayuda a controlar las moscas, reduce los malos olores y hace que la mezcla sea ligeramente más alcalina.

La cámara llena se degrada mientras que la segunda se llena; idealmente esto debe tomar un año. El material en la cámara llena se degradará en una mezcla seca parecida a la tierra, que puede removerse fácilmente de forma

manual. Debido al material rico en carbono que se añade, el proceso de degradación se acelera y el contenido está listo para excavación y uso mucho más rápido que en un VIP doble.

**Consideraciones de diseño** La cámara de una fosa alterna puede llenarse en un periodo de 12 a 24 meses, dependiendo de su tamaño y el número de usuarios. A pesar de que las cámaras son poco profundas (1.0 a 1.5 m), cada una puede ser empleada por una familia de seis miembros durante un año. La tecnología de fosa alterna sólo funciona correctamente si las dos cámaras son utilizadas de forma secuencial y no simultánea. Por lo tanto, se requiere una cubierta adecuada para cuando la cámara está fuera de servicio. La fosa alterna debe usarse para la orina, pero no se debe agregar agua (puede tolerar pequeñas cantidades de agua de limpieza anal). El agua fomenta el desarrollo de vectores y patógenos, pero también llena los espacios porosos y priva a las bacterias aeróbicas del oxígeno que requieren para la degradación. Se puede usar un SSDO (U.2) junto con la fosa alterna, pero sólo cuando la tierra no puede absorber suficiente orina o cuando se valora la orina para ser aplicada. Dado que se utiliza

material de cubierta para revestir continuamente las excretas, los malos olores se reducen. Para reducir aún más los malos olores se puede agregar un tubo de ventilación. En zonas inundables, donde la capa freática es muy alta, la fosa alterna podría elevarse o construirse totalmente sobre el suelo, para evitar la intrusión de agua y la contaminación de acuíferos. Levantar las cámaras también podría ser una opción cuando el suelo es rocoso y compactado y se dificulta excavar.

Si el espacio es abundante y no se desea hacer vaciado, otra alternativa de disposición final puede ser un ArborLoo (D.1). Si se usa un ArboLoo, las cámaras no deben revestirse.

**Idoneidad** La fosa alterna es apropiada para zonas periurbanas y rurales. Es especialmente adecuada para entornos con escasez de agua. Es una solución útil en áreas donde la tierra es pobre y puede beneficiarse del uso de material húmico estabilizado como acondicionador. La fosa alterna no es apropiada para aguas grises, ya que la cámara es poco profunda y las condiciones deben permanecer aeróbicas para la degradación.

El material se vacía manualmente desde la fosa alterna (se cava, no se bombea); por lo tanto, no es necesario un acceso para camiones aspiradores a las cámaras.

La fosa alterna no es apropiada para suelos rocosos o compactados (difíciles de excavar), ni para áreas que se inundan con frecuencia, excepto si las cámaras se levantan.

**Aspectos de salud/aceptación** Al cubrir las heces con tierra, ceniza y/u hojas, las moscas y los malos olores se minimizan. Es posible que los usuarios no entiendan la diferencia entre la fosa alterna y el VIP doble, aunque si se les da la oportunidad de usar una apreciarán sus ventajas. Se pueden utilizar unidades de demostración para mostrar cuán fácilmente se puede vaciar una fosa alterna en comparación con una cámara doble. Mantener el contenido sellado en la cámara al menos por un año hace que el material sea más seguro y fácil de manejar. Las mismas precauciones que se toman con el manejo de la composta deben tomarse con el humus derivado de la fosa alterna.

**Operación y mantenimiento** Cuando la primera cámara se pone en uso se debe colocar una capa de hojas en el fondo. Periódicamente se deben agregar más hojas para aumentar la porosidad y la disponibilidad de oxígeno. Tras la adición de heces a la fosa se debe agregar una pequeña cantidad de tierra, ceniza

y/u hojas. En ocasiones, el material acumulado debajo del agujero del sanitario debe empujarse hacia los lados de la cámara para optimizar el uso del espacio.

A diferencia de la cámara simple o ventilada (S.2, S.3), que serán cubiertas o vaciadas, el material de la fosa alterna está destinado para ser usado como acondicionador del suelo. Por lo tanto, es muy importante no poner basura en la cámara.


El vaciado de la fosa alterna es más fácil que el vaciado de otras cámaras; la fosa alterna es menos profunda y la incorporación de tierra, ceniza u hojas hace que el contenido sea menos compacto. El material que se remueve no es ofensivo y presenta una menor amenaza de contaminación. Dependiendo de las dimensiones de las cámaras, el contenido no debe vaciarse más de una vez al año.

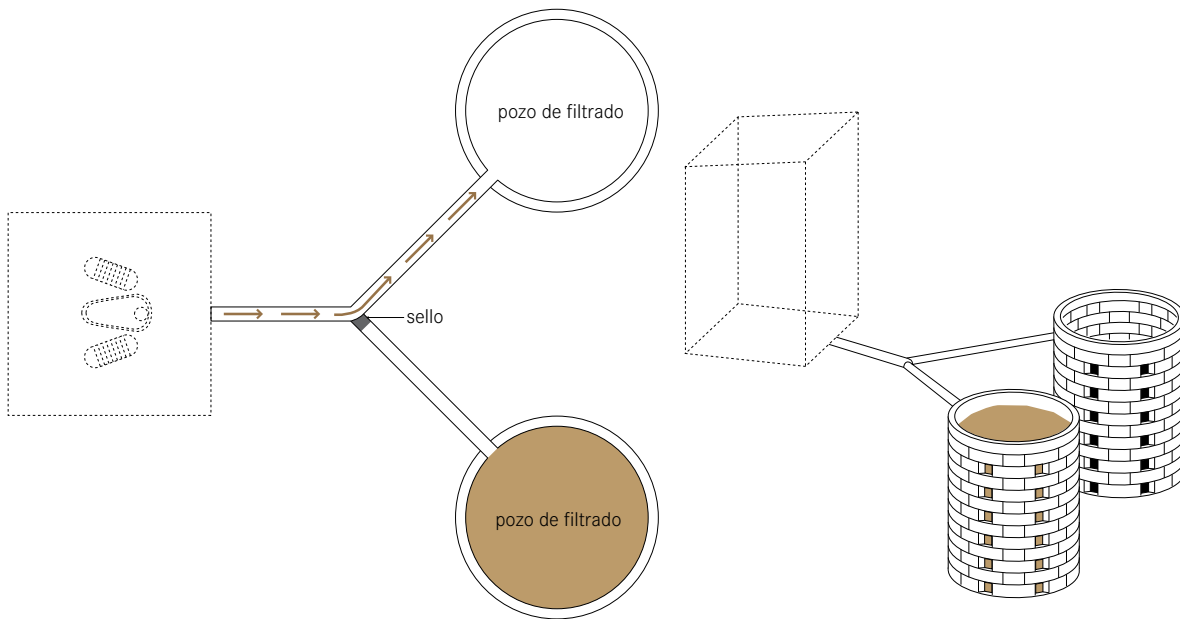
### Pros y contras

- + Dado que las cámaras dobles se usan alternativamente, su vida útil es prácticamente ilimitada.
- + La excavación de humus es más fácil que la del lodo fecal.
- + Reduce los patógenos de forma significativa.
- + Genera humus rico en nutrientes con potencial para ser usado como acondicionador del suelo.
- + Las moscas y los malos olores se reducen significativamente (en comparación con las cámaras sin ventilación).
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Requiere un costo de inversión bajo (pero variable), dependiendo de los materiales; ningún o bajo costo de operación si se vacía por sí solo.
- Requiere una fuente constante de material de cobertura.
- Necesita remoción manual del humus.
- La basura podría arruinar las oportunidades de uso final del producto.

### Referencias y lecturas adicionales

- Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Aguas negras  Aguas grises
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Humus
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



**Esta tecnología consiste en dos cámaras alternas conectadas a un sanitario con arrastre hidráulico (U.4). Las aguas negras (y, en algunos casos, las aguas grises) son recolectadas en las cámaras y pueden infiltrarse lentamente en el suelo circundante. Con el tiempo, los sólidos pierden suficiente agua como para ser removidos manualmente con una pala.**

La tecnología de cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico puede diseñarse de varias formas: el sanitario puede ubicarse directamente sobre las cámaras o a cierta distancia de ellas. La superestructura puede ser construida de forma permanente sobre ambas cámaras, o ser móvil para pasarla de una cámara a otra, dependiendo de la que esté en uso. Sin importar cómo esté diseñado el sistema, sólo se usa una cámara a la vez. Mientras se llena una cámara, la otra cámara llena está en reposo. Conforme el líquido se filtra desde la cámara y migra a través de la matriz de tierra no saturada, algunos gérmenes patógenos son absorbidos hacia la superficie del suelo. De esta manera es posible eliminar los patógenos antes de que entren en contacto con los acuíferos. El grado de eliminación varía según el tipo de suelo, la distancia recorrida, la humedad y otros factores ambientales.

La diferencia entre esta tecnología y el VIP doble (S.4) o la fosa alterna (S.5) es que permite usar agua y no es necesario añadir tierra o material orgánico a las cámaras. Como se trata de una tecnología a base de agua, las cámaras llenas requieren un mayor tiempo de retención (se recomiendan dos años) para degradar el material antes de que pueda ser excavada con seguridad.

**Consideraciones de diseño** Las cámaras deben ser de un tamaño adecuado para dar cabida al volumen de desperdicios generados en uno o dos años. Esto permite que el contenido de la cámara pueda transformarse en un material parcialmente desinfectado y parecido a la tierra, que puede ser excavado manualmente. Se recomienda que las cámaras se construyan separadas por 1 m para minimizar la contaminación cruzada entre la cámara en maduración y la que está en uso. También se recomienda que las cámaras se construyan por encima de 1 m de cualquier base estructural, ya que el lixiviado puede afectar los soportes estructurales. El agua en la cámara puede afectar su estabilidad. Por lo tanto, sus paredes deben revestirse para evitar el colapso, y los 30 cm superiores deben cubrirse completamente con mortero para evitar la infiltración directa y sostener la superestructura.

Hay riesgo de contaminación de acuíferos cuando las cámaras están ubicadas en áreas con un alto o variable nivel freático, o fisuras o grietas en los cimientos. Dado que las propiedades del suelo y los acuíferos a menudo desconocidas son, es difícil estimar la distancia necesaria entre una cámara y una fuente de agua. Normalmente se recomienda una distancia mínima horizontal de 30 m entre uno y otro para limitar la exposición de la fuente de agua a la contaminación microbiana.

Para garantizar que sólo una de las dos cámaras se use a la vez, el tubo inactivo conectado a la cámara que no está siendo usada debe estar bloqueado (por ejemplo, con cemento o ladrillos). Otra opción es conectar directamente el sanitario con arrastre hidráulico a la cámara en uso por un solo tubo recto y fijo, usando mortero ligero y cubierto con tierra. El riesgo de mal uso y fallas se minimiza cuando las tuberías y las conexiones no son fácilmente accesibles.

**Idoneidad** La cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico es una tecnología permanente apropiada para áreas donde no es posible construir continuamente nuevas letrinas. Mientras haya agua disponible, esta tecnología es apropiada para casi todo tipo de densidad de viviendas. Sin embargo, no se recomienda tener demasiadas cámaras húmedas en un área pequeña porque la matriz del suelo podría no tener capacidad suficiente para absorber todo el líquido y el suelo podría anegarse (saturarse). Para que las cámaras drenen correctamente, el suelo debe tener una buena capacidad de absorción; la arcilla y los suelos compactados o rocosos no son apropiados. Esta tecnología no es adecuada en zonas con una capa freática alta o donde haya frecuentes inundaciones.

Las aguas grises pueden manejarse junto con las aguas negras en las cámaras dobles, especialmente si la cantidad de aguas grises es relativamente pequeña y no hay otro sistema de manejo para su control. Sin embargo, grandes cantidades de agua de arrastre o aguas grises pueden resultar en una excesiva lixiviación de la cámara y podrían contaminar los acuíferos.

El material sólido y sin agua se vacía manualmente de las cámaras (se cava, no se bombea); por lo tanto, no es necesario un acceso para camiones aspiradores.

**Aspectos de salud/aceptación** Es una opción de saneamiento comúnmente aceptada; sin embargo, existen algunas preocupaciones para la salud:

- El lixiviado puede contaminar los acuíferos.
- El agua estancada en las cámaras puede promover la cría de insectos.
- Las cámaras son susceptibles a fallas y/o desbordamientos durante las inundaciones.

## Operación y mantenimiento










Las cámaras deben ser vaciados con regularidad (después del tiempo recomendado de dos años de descanso) y se debe garantizar que no se inundan durante el periodo de lluvias. El vaciado se realiza manualmente con palas de mango largo y equipo de protección personal adecuado.

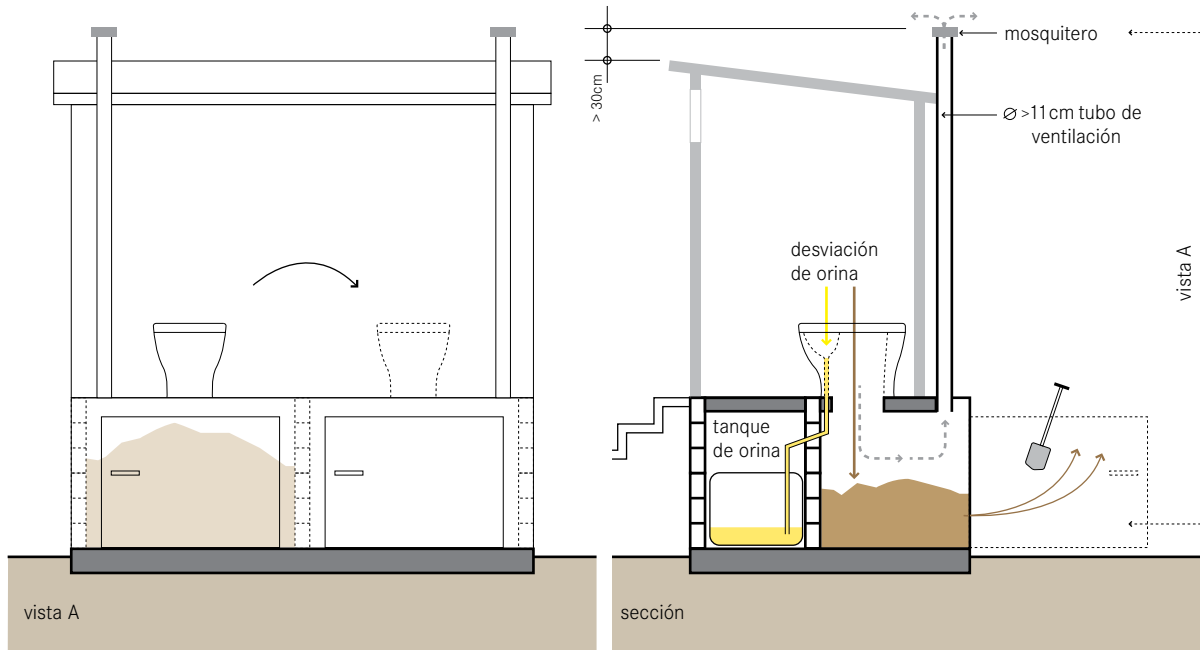
## Pros y contras

- + Dado que las cámaras dobles se usan alternativamente su vida útil es prácticamente ilimitada.
- + La excavación de humus es más fácil que la del lodo fecal.
- + Reduce los patógenos de forma significativa.
- + El material fecal almacenado tiene potencial para ser usado como acondicionador del suelo.
- + Las moscas y los malos olores se reducen significativamente (en comparación con las cámaras sin ventilación).
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Requiere un costo de inversión bajo (pero variable), dependiendo de los materiales; ningún o bajo costo de operación si se vacía por sí solo.
- + Requiere un terreno pequeño.
- Necesita remoción manual del humus.
- Las obstrucciones son frecuentes cuando se utilizan materiales de limpieza voluminosos.
- Presentan mayor riesgo de contaminación de los acuíferos debido a que hay más lixiviado que en los sistemas sin agua.

## Referencias y lecturas adicionales

- Franceys, R., J. Pickford y R. Reed (1992), *A Guide to the Development of on-Site Sanitation*, OMS, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Mara, D. D. (1985), *The Design of Pour-Flush Latrines*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido.
- Roy, A. K., P. K. Chatterjee, K. N. Gupta, S. T. Khare, B. B. Rau y R. S. Singh (1984), *Manual on the Design, Construction and Maintenance of Low-Cost Pour-Flush Waterseal Latrines in India*, UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Heces (+  Materiales secos de limpieza)
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Heces secas
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



**Las cámaras de deshidratación se usan para recolectar, almacenar y secar (deshidratar) las heces. Las heces sólo se deshidratan cuando las cámaras están bien ventiladas, cuando son resistentes al agua para evitar que la humedad exterior penetre y cuando la orina y el agua de limpieza anal se separan de las cámaras.**

Cuando las heces no se mezclan con orina u otros líquidos, se secan rápidamente. En ausencia de humedad los organismos no pueden crecer, los patógenos son destruidos y los malos olores se minimizan.

El uso de dos cámaras alternas permite que las heces se deshidraten en una mientras se llena la otra. Cuando una está llena, el sanitario seco con desviación de orina (SSDO, U.2) se traslada a la otra. Mientras la segunda cámara se llena, las heces de la primera cámara se secan y disminuyen su volumen. Cuando la segunda cámara está llena, la primera es vaciada y puesta en servicio nuevamente. Para evitar moscas, minimizar malos olores y fomentar el secado, debe usarse una pequeña cantidad de ceniza, cal, tierra seca o aserrín para cubrir las heces.

**Consideraciones de diseño** Las cámaras de deshidratación pueden construirse en interiores o con una

superestructura separada. Es necesario contar con un tubo de ventilación para remover la humedad de las cámaras y controlar las moscas y los malos olores. Las cámaras deben ser herméticas para el buen funcionamiento de la ventilación. Deben hacerse de ladrillo sellado o de concreto para garantizar que la escorrentía superficial no las penetre.

La OMS recomienda un tiempo de almacenamiento mínimo de seis meses si se usa ceniza o cal como material de cubierta (tratamiento alcalino); en caso contrario, el almacenamiento debe ser al menos de un año en climas cálidos (> 20 °C en promedio) o de año y medio a dos años en climas más fríos.

En caso de tratamiento alcalino, cada cámara tiene un tamaño para dar cabida por lo menos a seis meses de acumulación de heces. Esto resulta en seis meses de almacenamiento y deshidratación en la cámara que está fuera de servicio. Las dimensiones de la cámara deben tomar en cuenta el material de cubierta, el flujo de aire, la distribución desequilibrada de heces y, posiblemente, los visitantes y los materiales secos de limpieza. Se puede suponer que una persona requiere alrededor de 50 L de volumen de almacenamiento cada seis meses. Se recomienda que la cámara tenga una altura mínima

de 60 a 80 cm para facilitar el acceso y el vaciado a los tubos de orina.

**Idoneidad** Las cámaras de deshidratación pueden instalarse casi en cualquier entorno, desde el rural hasta áreas urbanas densas, debido a que sólo requiere un terreno pequeño, minimiza los malos olores y es de fácil uso. Si se emplea en un contexto urbano, esta tecnología depende de un servicio de transporte para las heces secas (y la orina), ya que los usuarios urbanos normalmente no tienen interés ni posibilidad de usarlas localmente. Las cámaras de deshidratación son apropiadas, sobre todo en zonas rocosas y con escasez de agua, o donde la capa freática es alta. También son convenientes en áreas que se inundan con frecuencia, porque están construidas para ser resistentes al agua.

**Aspectos de salud/aceptación** Las cámaras de deshidratación pueden ser una tecnología limpia, cómoda y fácil de usar. Es importante, sin embargo, que los usuarios estén bien entrenados para comprender cómo funciona la tecnología y apreciar sus beneficios.

Cuando las cámaras se mantienen secas, no debe haber problemas con moscas ni malos olores. Después del tiempo de almacenamiento recomendado, las heces deben estar muy secas y ser relativamente seguras de manejar, siempre y cuando no se mojen. Sin embargo, se mantiene un bajo riesgo para la salud. Las cámaras de deshidratación simples o contenedores no permiten que las heces se deshidraten lo suficiente. Cuando el contenedor lleno necesita ser vaciado, las heces en la parte superior todavía están frescas. Por lo tanto, el riesgo asociado con el manejo de la materia fecal es inherentemente mayor en cámaras simples que en cámaras dobles. Por lo tanto, se recomienda alternar las cámaras. Cabe indicar que las investigaciones y las pruebas de campo sobre contenedores sellados de heces (o cartuchos) para su transporte seguro y fácil limpieza, junto con la logística correspondiente, continúan.

**Operación y mantenimiento** Al igual que las heces se secan, pero no se degradan, los materiales secos de limpieza tampoco se descomponen en las cámaras. Cuando se pretenda aplicar el material en el campo sin tratamiento adicional, se recomienda recolectar y disponer de los materiales secos de limpieza por separado. En ocasiones, las heces que se han acumulado bajo el sanitario deben empujarse hacia los lados de la cámara. Debe garantizarse que no entre agua u orina en la cámara de deshidratación. Si esto sucede, se puede añadir ceniza, cal, tierra o aserrín adicional para ayudar a absorberla.

Para vaciar las cámaras se debe utilizar una pala, guantes y una máscara (pañuelo) para evitar el contacto con las heces secas.

### Pros y contras

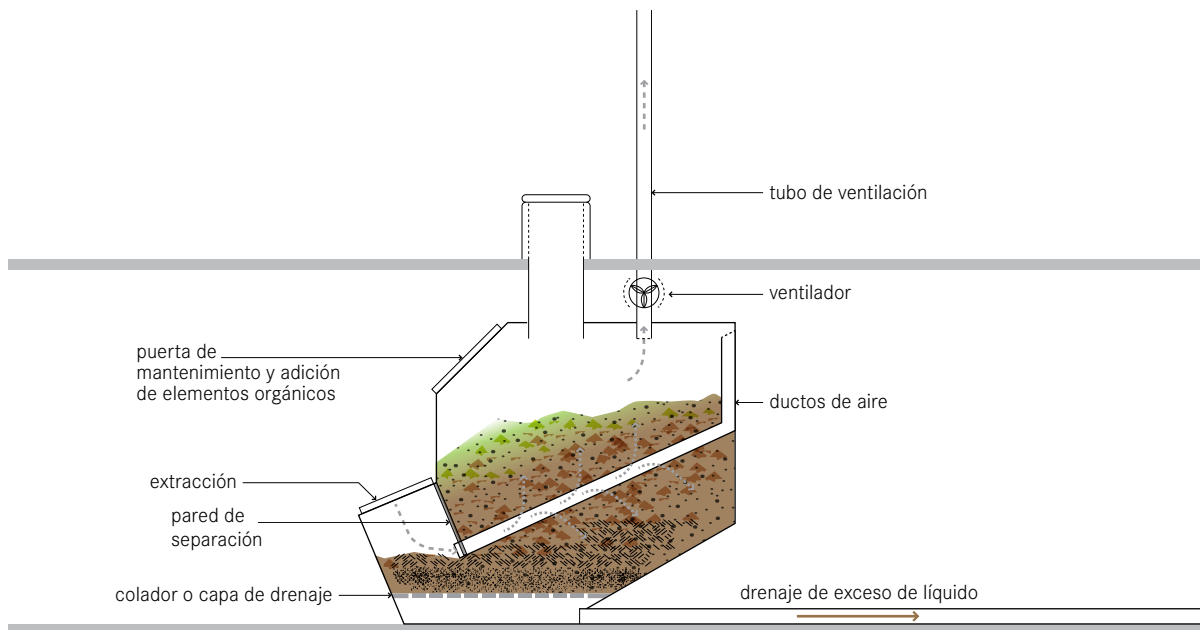
- + Dado que las cámaras dobles se usan de manera alternativa, su vida útil es prácticamente ilimitada.
- + Hay significativa reducción de patógenos.
- + Las heces secas tienen potencial para ser usadas como acondicionador del suelo.
- + No hay problema con moscas ni malos olores si se usa y mantiene correctamente (esto es, si se mantienen secas).
- + Puede ser construida y reparada con materiales disponibles localmente.
- + Es adecuada para áreas rocosas o inundables, o donde la capa freática es alta.
- + Requiere un costo de inversión bajo (pero variable), dependiendo de los materiales; ningún o bajo costo de operación si se vacía por sí sola.
- Requiere entrenamiento y aceptación para ser usada correctamente.
- Necesita una fuente constante de material de cobertura.
- Requiere remoción manual de las heces secas.

### Referencias y lecturas adicionales

- Deegener, S., M. Samwel y S. Gabizon (2006), *Urine Diverting Toilets. Principles, Operation and Construction. Women in Europe for a Common Future*, Utrecht, Países Bajos, y Munich, Alemania. Disponible en [www.wecf.de](http://www.wecf.de). (Fotografías y explicaciones sobre cómo construir una cámara doble y una superestructura.)
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Rieck, C., E. von Münch y H. Hoffmann (2012), *Technology Review of Urine-Diverting Dry Toilets (UDDTs). Overview of Design, Operation, Management and Costs*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Winblad, U., y M. Simpson-Hébert (eds.) (2004), *Ecological Sanitation. Revised and Enlarged Edition*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org). (Descripción general de varios diseños y adaptaciones, sobre todo en el capítulo 3.)



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Excretas  Heces  Orgánicos (+  Materiales secos de limpieza)
Vivienda Vecindario Ciudad	Vivienda Compartido Público	<b>Salidas:</b> Composta  Efluente



**El compostaje se refiere al proceso por el cual los componentes biodegradables son descompuestos biológicamente por medio de microorganismos (principalmente hongos y bacterias) en condiciones aerobias. Una cámara de compostaje está diseñada para convertir las excretas y los materiales orgánicos en composta. La composta es un producto estable e inofensivo que puede ser manejado con seguridad y ser usado como acondicionador del suelo.**

Esta tecnología requiere generalmente cuatro partes principales: 1) un reactor (cámara de almacenamiento); 2) una unidad de ventilación para proporcionar oxígeno y permitir que los gases escapen ( $\text{CO}_2$ , vapor de agua); 3) un sistema de recolección de lixiviado, y 4) una puerta de acceso para remover el producto maduro.

Las excretas, los materiales orgánicos, los desperdicios de alimentos y el material de relleno (como virutas de madera, aserrín, ceniza o papel) se mezclan en la cámara. Hay cuatro factores que garantizan el buen funcionamiento del sistema: a) suficiente oxígeno, ya sea por aireación activa o pasiva; b) adecuada humedad (idealmente, 45 a 70%); c) temperatura interna de 40 a 50 °C (que se logra mediante un dimensionamiento correcto

de la cámara), y d) una relación C:N de 25:1 (en teoría), que puede ser ajustada mediante la adición de material de relleno como fuente de carbono.

En la práctica, estas condiciones óptimas son difíciles de mantener. Como resultado, el efluente podría no ser estable ni estar lo suficientemente desinfectado, y requerir tratamiento adicional.

**Consideraciones de diseño** Una cámara de compostaje se puede diseñar en diferentes configuraciones, construidas por encima o por debajo del suelo, en interiores o con una superestructura por separado.

Se puede utilizar un valor de diseño de 300 L/persona/año para calcular el volumen de la cámara que se requiere.

Los canales de ventilación (conductos de aire) bajo el vertedero pueden ser beneficiosos para la aireación. Los diseños más complejos pueden incluir un pequeño ventilador y un mezclador mecánico o múltiples compartimientos para un mayor almacenamiento y mayor tiempo de degradación. Un fondo inclinado y una cámara para retirar la composta facilitan el acceso al producto final. Un sistema de drenaje es importante para garantizar la remoción del lixiviado.

El exceso de amoníaco de la orina inhibe los procesos microbianos en la cámara. El uso de un sanitario seco con desviación de orina (SSDO, U.2) u mingitorio (U.3) puede, por lo tanto, mejorar la calidad de la composta.

**Idoneidad** Debido a que esta tecnología es compacta y no requiere agua, se adapta especialmente a áreas donde la tierra y el agua son limitados, o donde se necesita composta. También puede ser instalada en zonas rocosas, o donde la capa freática es alta. En climas fríos, la cámara de compostaje debe estar en el interior para garantizar que las bajas temperaturas no impidan los procesos microbianos. Esta tecnología no se puede usar para recolección de agua de limpieza anal o para aguas grises; si se llega a humedecer demasiado, condiciones anaerobias causarán problemas de malos olores y una inadecuada degradación.

**Aspectos de salud/aceptación** Si la cámara de compostaje está bien diseñada, los usuarios no tendrán que manejar el material durante el primer año. Un buen funcionamiento de la cámara de compostaje eliminará los malos olores. Si hay suficiente material de relleno y buena ventilación, no debería haber problemas con moscas ni otros insectos. Al remover el producto final, se aconseja llevar ropa o equipo de protección para evitar el contacto con el material compostado (parcialmente).

**Operación y mantenimiento** Aunque es simple en teoría, en la práctica la cámara de compostaje no es fácil de operar. La humedad debe ser controlada, la relación C:N debe estar bien equilibrada y el volumen de la unidad debe ser el adecuado para que la temperatura de la pila de composta se mantenga alta y lograr así la reducción de patógenos. Después de cada defecación se añade una pequeña cantidad de material de relleno para absorber el exceso de líquido, mejorar la aireación de la pila y equilibrar la disponibilidad de carbono. Girar el material de vez en cuando aumentará el suministro de oxígeno.

Se puede realizar una prueba de compresión para comprobar el nivel de humedad dentro de la cámara. Al exprimir un puñado de composta, ésta no debe desmenuzarse, ni sentirse seca o como una esponja húmeda. Más bien, la composta debe dejar sólo unas gotas de agua en la mano. Si el material en la cámara es demasiado compacto y húmedo, se debe agregar material de relleno adicional. Si se usa un SSDO, hay agregar agua para obtener la humedad requerida.

Dependiendo del diseño, la cámara de compostaje debe vaciarse cada 2 a 10 años. Se tiene que retirar sólo la

composta madura. El material puede requerir tratamiento adicional para ser higiénicamente seguro (por ejemplo, compostaje; véase T.16).

Con el tiempo, pueden acumularse sal u otros sólidos en el depósito o sistema de drenaje, los cuales pueden rasparse y/o disolverse con agua caliente.

### Pros y contras

- + Hay significativa reducción de patógenos.
- + La composta puede usarse como acondicionador del suelo.
- + No hay problema con moscas ni malos olores si se usa y se mantiene correctamente.
- + Los orgánicos sólidos pueden manejarse al mismo tiempo.
- + Larga vida útil.
- + Bajo costo de operación si se vacía por sí sola.
- Requiere un usuario capacitado o personal de servicio para monitoreo y mantenimiento.
- La composta puede requerir tratamiento adicional antes de su uso.
- El lixiviado requiere tratamiento o descarga adecuada.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- Puede necesitar algunos repuestos especializados y electricidad.
- Requiere una fuente constante de materiales orgánicos.
- Requiere remoción manual de composta.

### Referencias y lecturas adicionales

- Berger, W. (2011), *Technology Review of Composting Toilets. Basic Overview of Composting Toilets (with or without Urine Diversion)*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Del Porto, D., y C. Steinfeld (1999), *The Composting Toilet System Book. A Practical Guide to Choosing, Planning and Maintaining Composting Toilet Systems, an Alternative to Sewer and Septic Systems*, The Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Concord, Massachusetts.
- Hill, G. B., S. A. Baldwin y B Vinnerås (2013), "Composting Toilets a Misnomer: Excessive Ammonia from Urine Inhibits Microbial Activity Yet Is Insufficient in Sanitizing the End-Product", *Journal of Environmental Management* 119 (2013): 29-35.
- Jenkins, J. (2005), *The Humanure Handbook. A Guide to Composting Human Manure*, 3ª ed., Jenkins Publishing, Grove City, Pensilvania.
- U. S. EPA (1999), *Water Efficiency Technology Fact Sheet. Composting Toilets. EPA 832-F-99-066*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

**Nivel de aplicación:**

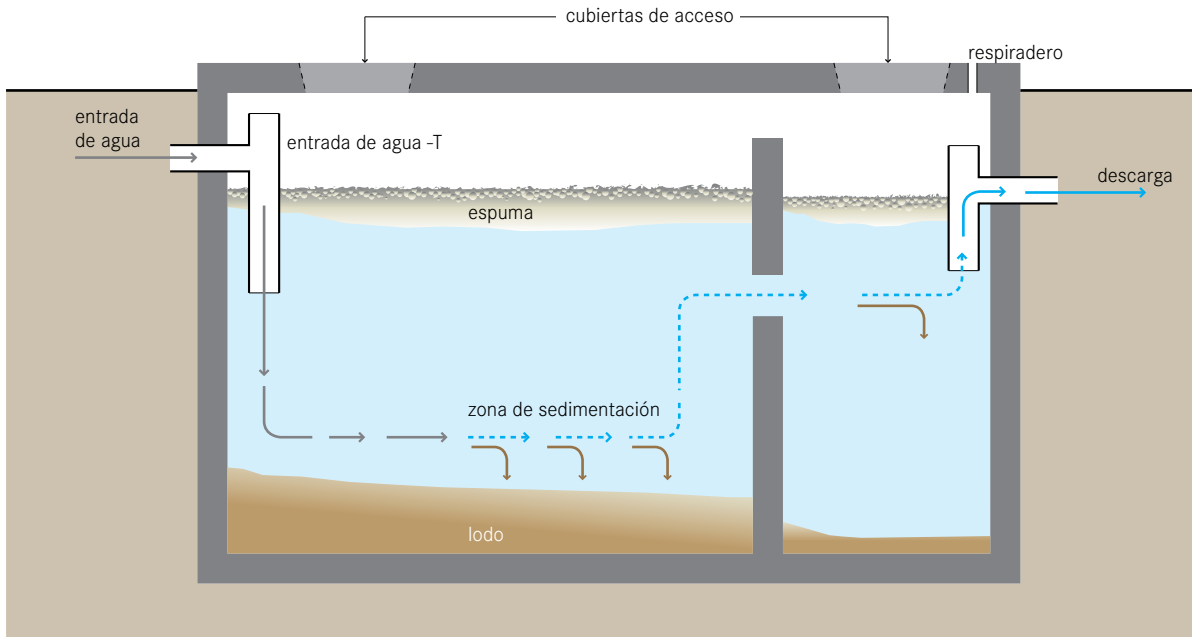
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:** ■ Aguas negras ■ Aguas cafés  
■ Aguas grises

**Salidas:** ■ Efluente ■ Lodo



**Un tanque (o fosa) séptica es una cámara resistente al agua hecha de concreto, fibra de vidrio, PVC o plástico, a través de la cual fluyen aguas negras y aguas grises para su tratamiento primario. Los procesos de asentamiento y anaerobios reducen los materiales sólidos y los orgánicos, pero el tratamiento sólo es moderado.**

El líquido fluye a través de la fosa y las partículas pesadas se asientan en el fondo, mientras que la espuma (sobre todo aceite y grasa) flota hacia la superficie. Con el tiempo, los sólidos que se asientan en el fondo son degradados anaerobiamente. Sin embargo, la tasa de acumulación es mayor que la tasa de descomposición, y el lodo y la espuma que se acumulan deben eliminarse periódicamente. El efluente de la fosa séptica debe dispersarse mediante un pozo de absorción (D.7) o lecho de infiltración (D.8), o bien, ser transportado a otra tecnología de tratamiento a través de un alcantarillado libre de sólidos (C.5).

Generalmente, puede esperarse la eliminación de 50% de sólidos, 30 a 40% de DBO y una reducción logarítmica de 1 de *E. coli* en una fosa séptica bien diseñada y mantenida, aunque la eficiencia varía mucho dependiendo

de su operación y mantenimiento, así como de las condiciones climáticas.

**Consideraciones de diseño** Una fosa séptica debe tener al menos dos cámaras. La primera tiene que medir al menos 50% de la longitud total, y cuando sólo haya dos cámaras, debe ser dos tercios de la longitud total. La mayoría de los sólidos se sedimentan en la primera cámara. El deflector, o la separación entre las cámaras, se usa para evitar que la espuma y los sólidos escapen con el efluente. Un tubo de salida en forma de T reduce aún más la descarga de espuma y sólidos.

La accesibilidad a todas las cámaras (a través de puertos de acceso) es necesaria para el mantenimiento. Las fosas sépticas deben ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

El diseño de una fosa séptica depende del número de usuarios, la cantidad de agua usada per cápita, la temperatura media anual, la frecuencia del desenlodado y las características de las aguas residuales. El tiempo de retención debe ser de 48 horas para lograr un tratamiento moderado.

Una variación de la fosa séptica se llama un Aquaprivy. Se trata de un sencillo tanque de almacenamiento y asen-

tamiento, directamente situado debajo del sanitario para que las excretas caigan en él. El Aquaprivy tiene una eficiencia de tratamiento baja.

**Idoneidad** Esta tecnología se aplica más comúnmente para vivienda. Se pueden diseñar fosas sépticas más grandes y con varias cámaras para grupos de viviendas o edificios públicos (por ejemplo, escuelas).

Una fosa séptica es apropiada donde hay una forma de dispersar o transportar el efluente. Si se utilizan fosas sépticas en zonas densamente pobladas no se debe usar infiltración en el sitio; de lo contrario, la tierra se sobresaturará y se contaminará, y las aguas residuales podrían llegar a la superficie, lo cual plantearía un riesgo grave para la salud. En cambio, las fosas sépticas deben conectarse a algún tipo de tecnología de conducción, a través de la cual el efluente sea transportado a otro sitio para su tratamiento posterior o disposición final. A pesar de que las fosas sépticas son resistentes al agua, se recomienda no construirlas en zonas con capas freáticas altas, o donde haya inundaciones frecuentes.

Dado que la fosa séptica debe ser desenlodada de vez en cuando, es necesario el acceso para un camión aspirador hasta el sitio. A menudo las fosas sépticas se instalan en las viviendas bajo la cocina o el baño, lo que dificulta su vaciado.

Las fosas sépticas pueden instalarse en cualquier clima, aunque su eficiencia será menor en climas más fríos. No son eficientes para la eliminación de nutrientes ni de patógenos.

**Aspectos de salud/aceptación** Bajo condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o efluente. El efluente, la espuma y el lodo tienen que manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos. Los usuarios deben tener cuidado al abrir el tanque para evitar la liberación de gases inflamables y tóxicos.

**Operación y mantenimiento** Debido a su delicada ecología, se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en la fosa séptica. Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garan-

tizar que el tanque esté funcionando bien. En general, la fosa séptica tiene que vaciarse cada dos a cinco años. Se recomienda usar tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.3), aunque el vaciado y el transporte manual (C.2) también puede ser una opción.

Las fosas sépticas deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo resistentes al agua.

### Pros y contras

- + Tecnología sencilla y fuerte.
- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- + Larga vida útil.
- + Requiere un terreno pequeño (se puede construir bajo tierra).
- Poca reducción de patógenos, sólidos y orgánicos.
- Debe garantizarse un desenlodado frecuente.
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGrawHill, Nueva York.
- Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido. (Cálculos para tamaño, volumen y vaciado, y ejemplos de soluciones de diseño, capítulo 6.)
- Oxfam (2008), *Septic Tank Guidelines. Technical Brief*, Oxfam, Gran Bretaña, y Oxford, Reino Unido. Disponible en [policy-practice.oxfam.org.uk](http://policy-practice.oxfam.org.uk).
- Polprasert, C., y V. S. Rajput (1982), *Environmental Sanitation Reviews. Septic Tank and Septic Systems*, Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, Tailandia, pp. 68-74. (Manual de diseño integral.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.

**Nivel de aplicación:**

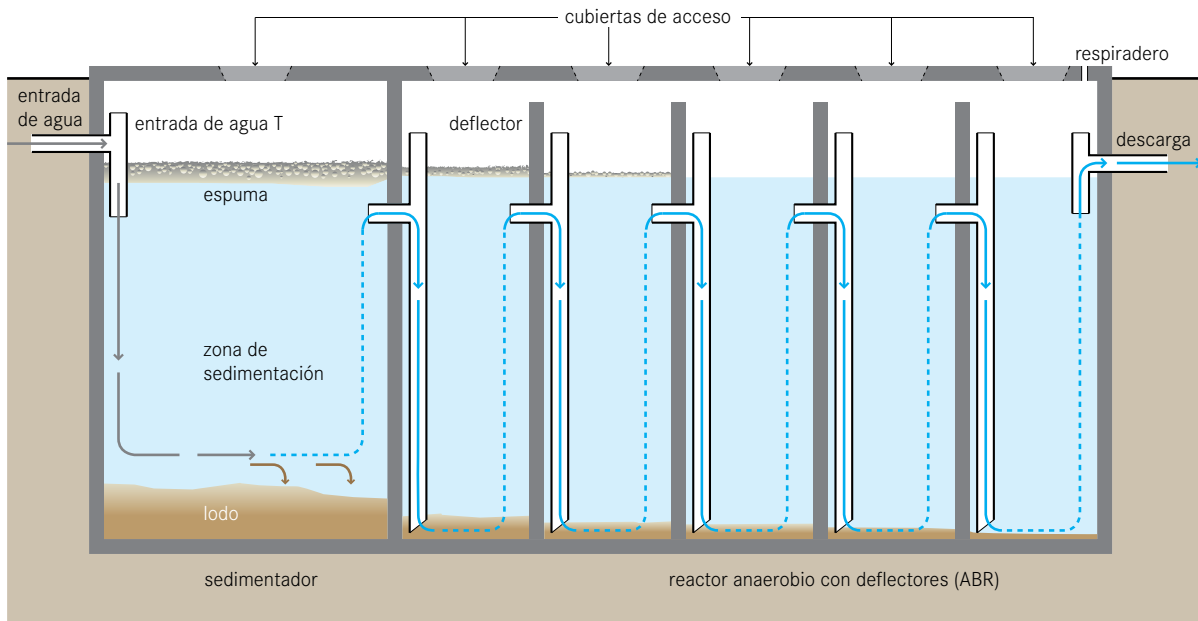
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Aguas negras  Aguas cafés  
 Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Un reactor anaerobio con deflectores (ABR) constituye una mejora a la fosa séptica o tanque séptico (S.9), ya que tiene una serie de cámaras o pistones en las cuales deben fluir las aguas residuales. Un mayor tiempo de contacto con la biomasa activa (lodo) se traduce en un mejor tratamiento.**

Las cámaras o pistones de flujo ascendente proporcionan mayor remoción y digestión de la materia orgánica. El DBO puede reducirse hasta 90%, que es muy superior a la eliminación en una fosa séptica convencional.

**Consideraciones de diseño** La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación enfrente de los ABR. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes tienen un compartimento integrado para el asentamiento, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, fosa séptica existente). Los diseños sin un compartimento de sedimentación (como se muestra en T.3) son de particular interés para las plantas con sistema de tratamiento semicentralizado, que combinan el ABR con otra tecnología para el asentamiento

principal, o donde se usan unidades prefabricadas y modulares.

Los flujos típicos son de 2 a 200 m<sup>3</sup> por día. Los parámetros críticos de diseño incluyen un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 48 a 72 horas; una velocidad de flujo ascendente de aguas residuales por debajo de 0.6 m/h, y de tres a seis cámaras de flujo ascendente. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores. La accesibilidad a todas las cámaras (a través de puertos de acceso) es necesaria para el mantenimiento. En general, el biogás producido en un ABR mediante digestión anaerobia no es recolectado ya que es muy poco. El tanque debe ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

**Idoneidad** Esta tecnología se adapta fácilmente y puede aplicarse en viviendas, en pequeños vecindarios o, incluso, en grandes cuencas. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. Un ABR (semi)centralizado es apropiado cuando existe una tecnología de conducción preexistente, como una alcantarilla simplificada (C.4). Esta tecnología es conveniente para áreas donde no hay

mucho terreno, ya que el tanque suele instalarse bajo tierra y requiere un área pequeña. Sin embargo, debe haber un acceso para que el camión aspirador pueda eliminar el lodo de manera regular (sobre todo desde el sedimentador).

Los ABR pueden instalarse en todo tipo de clima, aunque su eficacia es menor en climas más fríos. No son eficientes para la eliminación de nutrientes ni de patógenos. El efluente suele requerir tratamiento adicional.

**Aspectos de salud/aceptación** Bajo condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o efluente. El efluente, la espuma y el lodo deben manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos. El efluente contiene compuestos olorosos que pueden eliminarse en un posterior paso de tratamiento final. Se debe tener cuidado al diseñar y ubicar el tanque para que los olores no molesten a la comunidad.

**Operación y mantenimiento** Un ABR requiere un periodo de puesta en marcha de varios meses para llegar a la capacidad de tratamiento total, ya que la biomasa anaerobia de crecimiento lento primero debe establecerse en el reactor. Para reducir el tiempo inicial, el ABR puede ser inoculado con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la adición de estiércol fresco de vaca o lodo de una fosa séptica. Las bacterias activas agregadas pueden multiplicar y adaptarse a las aguas residuales entrantes. Debido a su delicada ecología, se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en el ABR.

Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garantizar que el tanque esté funcionando bien. En general, no se requiere operación y el mantenimiento se limita a remover el lodo y la espuma acumulados cada uno a tres años. Se recomienda usar tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.3). La frecuencia del desenlodado depende de los pasos de pretratamiento que se escojan, así como del diseño de los tanques de ABR.

Los tanques de ABR deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo resistentes al agua.

### Pros y contras

- + Resistente a cargas orgánicas y de choque hidráulico.
- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- + Larga vida útil.
- + Alta reducción de DBO.
- + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado.
- + Requiere un terreno de tamaño moderado (se puede construir bajo tierra).
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Baja reducción de patógenos y nutrientes.
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Bachmann, A., V. L. Beard y P. L. McCarty (1985), "Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor", *Water Research* 19 (1): 99-106.
- Barber, W. P., y D. C. Stuckey (1999), "The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review", *Water Research* 33 (7): 1559-1578.
- Foxon, K. M., C. A. Buckley, C. J. Brouckaert, P. Dama, Z. Mtembu, N. Rodda, M. Smith, S. Pillay, N. Arjun, T. Lalbahadur y F. Bux (2006), *Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-urban Settlements*. WRC Report No 1248/01/06, Water Research Commission, Pretoria, Sudáfrica. Disponible en [www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za).
- Foxon, K. M., S. Pillay, T. Lalbahadur, N. Rodda, F. Holder y C. A. Buckley (2004), "The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for On-Site Sanitation", *Water SA* 30 (5), edición especial. Disponible en [www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za).
- Stuckey, D. C. (2010), "Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment", en H. H. P. Fang (ed.), *Environmental Anaerobic Technology. Applications and New Developments*, Imperial College Press, Londres, Reino Unido.
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (Ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.

**Nivel de aplicación:**

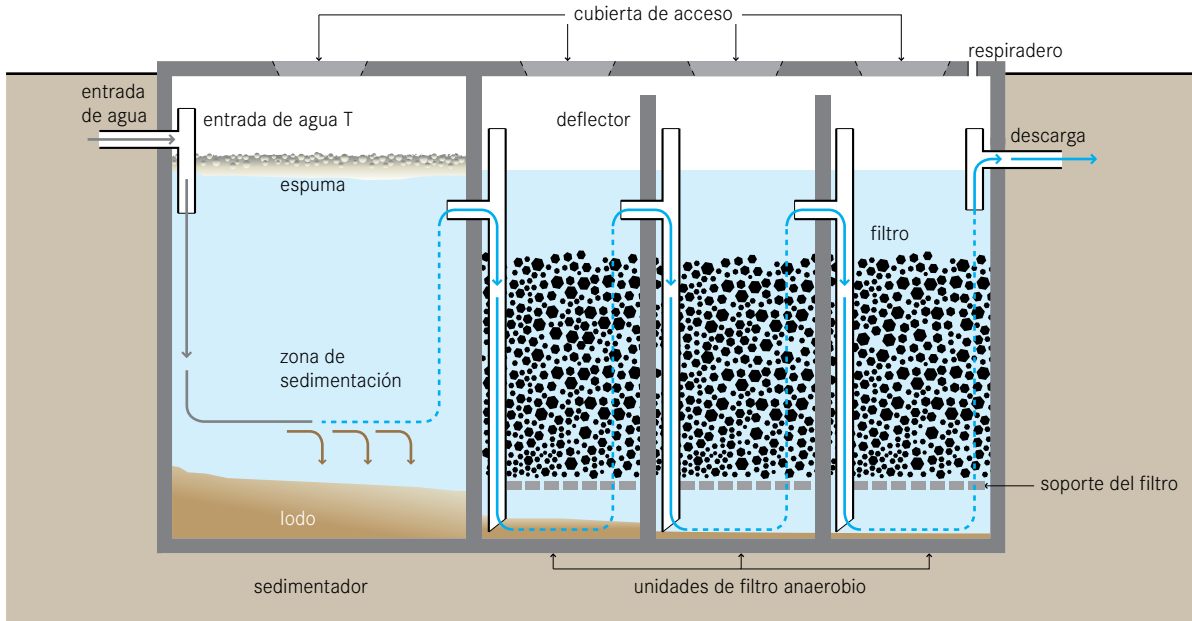
- ★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:**  Aguas negras  Aguas cafés  
 Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Un filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. Conforme las aguas residuales atraviesan el filtro, las partículas son atrapadas y la materia orgánica es degradada por la biomasa activa adjunta a la superficie del material del filtro.**

Con esta tecnología, la eliminación de DBO y sólidos en suspensión puede ser de casi 90%, pero suele ser de 50 a 80%. La eliminación de nitrógeno es limitada y normalmente no supera 15% en términos de nitrógeno total (NT).

**Consideraciones de diseño** El pretratamiento y el tratamiento primario son esenciales para remover la basura y los sólidos que puedan obstruir el filtro. La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación enfrente del filtro anaerobio. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes poseen un compartimiento integrado para el asentamiento, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, fosa séptica existente). Los diseños sin un compartimiento de sedimentación (como se muestra en T.4) son de particular

interés para las plantas con sistema de tratamiento (semi)centralizado, que combinan el filtro anaerobio con otras tecnologías, como el reactor anaerobio con deflectores (ABR, T.3).

Los filtros anaerobios generalmente operan en modo de flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. Por esta razón se le denomina Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).<sup>1</sup> El nivel del agua debe cubrir el medio filtrante al menos en 0.3 m para garantizar un régimen de flujo uniforme. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el parámetro de diseño que más influye en el rendimiento del filtro. Se recomienda un TRH de 12 a 36 horas.

El filtro ideal debe tener una superficie amplia para que las bacterias crezcan, con poros lo suficientemente grandes para evitar atascos. La superficie garantiza un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa adjunta que la degrada. Idealmente, el material debe proporcionar entre 90 y 300 m<sup>2</sup> de superficie por cada metro cúbico de volumen de reactor ocupado. Los tamaños usuales de materiales del filtro van de 12 a 55 mm de diámetro. Los materiales comúnmente

<sup>1</sup> Nota de traducción.

usados incluyen gravas, rocas o ladrillos machacados, ceniza, piedra pómez, o piezas de plástico especiales, dependiendo de la disponibilidad local. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores. La accesibilidad a todas las cámaras (a través de puertos de acceso) es necesaria para el mantenimiento. El tanque debe ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

**Idoneidad** Esta tecnología se adapta fácilmente y puede aplicarse en viviendas, en pequeños vecindarios o, incluso, en grandes cuencas. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. El filtro anaerobio puede utilizarse para tratamiento secundario, con el fin de reducir el índice de carga orgánica para posteriores pasos en el tratamiento aerobio, o para tratamiento final. Esta tecnología es conveniente para áreas donde no hay mucho terreno, ya que el tanque suele instalarse bajo tierra y requiere un área pequeña. La accesibilidad para un camión aspirador es importante, ya que la tecnología requiere deslodado.

Los filtros anaerobios pueden instalarse en todo tipo de clima, aunque su eficacia es menor en climas más fríos. No son eficientes para la eliminación de nutrientes ni de patógenos. Sin embargo, dependiendo del material del filtro, puede lograrse la eliminación total de huevos de helminto. El efluente suele requerir tratamiento adicional.

**Aspectos de salud/aceptación** Bajo condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o efluente. El efluente, la espuma y el lodo deben manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos. El efluente contiene compuestos olorosos que pueden eliminarse en un posterior paso de tratamiento final. Se debe tener cuidado al diseñar y ubicar el tanque para que los olores no molesten a la comunidad.

**Operación y mantenimiento** Un filtro anaerobio requiere un periodo de puesta en marcha de seis a nueve meses para llegar a la capacidad de tratamiento total, ya que la biomasa anaerobia de crecimiento lento primero debe establecerse en el filtro. Para reducir el tiempo inicial, el filtro puede ser inoculado con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la aspersión de lodos de la fosa séptica en el material del filtro. El flujo aumentará con el tiempo. Debido a su delicada ecología,

se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en el filtro anaerobio.

Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garantizar que el tanque esté funcionando bien. Con el tiempo, los sólidos obstruirán los poros del filtro. De la misma forma, la creciente masa bacteriana se espesará demasiado, se quebrará y llegará a obstruir los poros. El filtro debe limpiarse cuando reduzca su eficiencia. Esto se logra poniendo el sistema en reversa (retrolavado) o al remover y limpiar el material del filtro. Los tanques de filtros anaerobios deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo resistentes al agua.

### Pros y contras

- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- + Larga vida útil.
- + Alta reducción de DBO y sólidos.
- + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado.
- + Necesita un terreno de tamaño moderado (se puede construir bajo tierra).
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Baja reducción de patógenos y nutrientes.
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.
- Alto riesgo de obstrucción, dependiendo del pretratamiento y tratamiento primario.
- Remover y limpiar el material del filtro obstruido es engorroso.

### Referencias y lecturas adicionales

- Morel, A., y S. Diener (2006), *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Resumen que incluye casos de estudio, p. 28.)
- Sperling, M. von, y C. A. de Lemos Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume One*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido, pp. 728-804. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org). (Instrucciones detalladas de diseño.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. (Resumen que incluye hojas de Excel para cálculos de diseño.)



**Nivel de aplicación:**

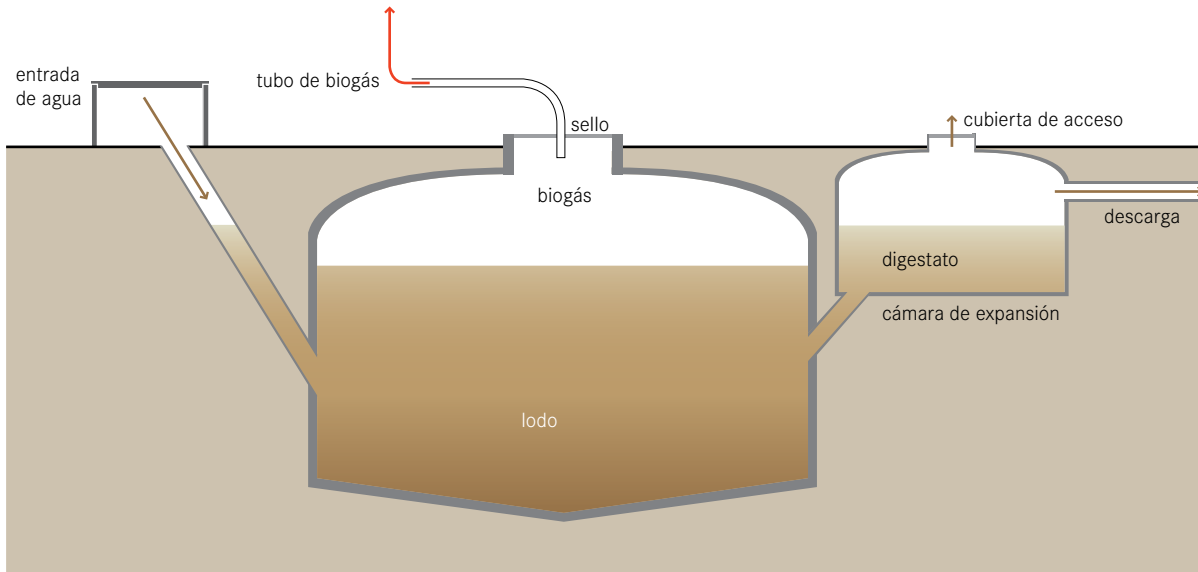
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:** Lodo (gris), Aguas negras (azul), Aguas cafés (rojo), Orgánicos (verde)

**Salidas:** Lodo (gris), Biogás (rojo)



**Un reactor de biogás o digestor anaerobio es una tecnología de tratamiento anaerobio que produce:**

**a) una mezcla digerida (digerido), que puede ser usada como fertilizante, y b) biogás, que puede ser utilizado para energía. El biogás es una mezcla de metano, dióxido de carbono y otros vestigios gaseosos que se pueden convertir en calor, electricidad o luz.**

Un reactor de biogás es una cámara hermética que facilita la degradación anaerobia de aguas negras, lodos o desperdicios biodegradables. También facilita la recolección del biogás producido en los procesos de fermentación en el reactor. El gas se forma en el lodo y se acumula en la parte superior de la cámara, mezclando el lodo conforme sube. El lodo digerido es rico en orgánicos y nutrientes, casi no tiene mal olor y sus patógenos están parcialmente inactivos.

**Consideraciones de diseño** Los reactores de biogás pueden ser domos construidos de ladrillo o tanques prefabricados, instalados por encima o por debajo del suelo, dependiendo de las características del suelo, espacio, recursos disponibles y volumen de desperdicios

generado. Pueden construirse como domos fijos o como domos digestores flotantes. En el domo fijo el volumen del reactor es constante. Conforme se genera el gas, ejerce una presión y desplaza la mezcla de lodo hacia arriba, a una cámara de expansión. Cuando el gas es removido, la mezcla fluye hacia el reactor. La presión puede ser usada para transportar el biogás a través de las tuberías. En un reactor de domo flotante el domo sube y baja según la producción y el retiro de gas. Otras veces puede expandirse (como un globo). Para minimizar las pérdidas de distribución, los reactores deben instalarse cerca de donde el gas será usado.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el reactor debe ser al de menos 15 días en climas cálidos y de 25 días en climas templados. Para entradas muy patogénicas, debe considerarse un TRH de 60 días. Normalmente los reactores de biogás funcionan en el rango de temperatura mesofílico de 30 a 38 °C. Una temperatura termofílica, de 50 a 57 °C, podría garantizar la destrucción de patógenos, pero sólo puede lograrse al calentar el reactor (aunque en la práctica esto sólo se encuentra en países industrializados).

A menudo los reactores de biogás están directamente conectado a sanitarios privados o públicos, con un pun-

to de acceso adicional para materiales orgánicos. A nivel de viviendas, es posible que los reactores estén hechos con recipientes plásticos o de ladrillo. Los tamaños pueden variar desde 1 000 L para una sola familia hasta 100 000 L para sanitarios públicos o institucionales. Debido a que la producción de lodo digerido es continua, debe preverse su almacenamiento, uso o transporte fuera del sitio.

**Idoneidad** Esta tecnología puede aplicarse en viviendas y en pequeños vecindarios o en la estabilización de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes. Es más adecuada donde hay forrajes.

A menudo el reactor de biogás se utiliza como alternativa a la fosa séptica (S.9), ya que ofrece un nivel similar de tratamiento, pero con el valor agregado del biogás. Sin embargo, no es posible lograr una producción de gas significativa si el único afluente son las aguas negras. Los niveles más altos de producción de biogás se obtienen con substratos concentrados, que son ricos en materia orgánica como estiércol, productos orgánicos del mercado o desperdicios domésticos. Puede ser eficiente en la codigestión de aguas negras de una vivienda sólo si el estiércol es la principal materia prima. No se deben agregar aguas grises porque reducen sustancialmente el TRH. Los materiales como paja y madera son difíciles de degradar y deben evitarse en el sustrato.

Los reactores de biogás son menos apropiados para climas más fríos, ya que la tasa de conversión de materia orgánica en biogás es muy baja —por debajo de los 15 °C—. En consecuencia, el TRH debe ser más largo y el volumen del diseño debe incrementarse sustancialmente.

**Aspectos de salud/aceptación** El lodo digerido está parcialmente desinfectado, pero aún conlleva un riesgo de infección. Dependiendo de su uso final, requerirá tratamiento adicional. También hay peligros asociados con los gases inflamables que, de ser mal manejados, pueden ser perjudiciales para la salud humana.

**Operación y mantenimiento** Si el reactor está correctamente diseñado y construido, las reparaciones deben ser mínimas. Para poner en marcha el reactor debe inocularse con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la adición de estiércol de vaca o lodo de la fosa séptica. Los orgánicos usados como sustrato de-

ben triturarse y mezclarse con agua o lodo digerido antes de la alimentación.

El equipo de gas debe limpiarse cuidadosa y periódicamente para prevenir la corrosión y las fugas. La arenilla y la arena que se han asentado en el fondo deben ser removidas. Dependiendo del diseño y de los afluentes, el reactor puede vaciarse una vez cada 5 a 10 años.

### Pros y contras

- + Generación de energía renovable.
- + Requiere un terreno pequeño (la mayor parte de la estructura puede construirse bajo tierra).
- + No requiere energía eléctrica.
- + Conserva los nutrientes.
- + Larga vida útil.
- + Bajos costos de operación.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Eliminación incompleta de patógenos; el lodo digerido podría requerir tratamiento adicional.
- Limitada producción de gas por debajo de los 15 °C.

### Referencias y lecturas adicionales

- CMS (1996), *Biogas Technology: A Training Manual for Extension*. FAO/TCP/NEP/4451-T, Consolidated Management Services, Kathmandu, Nepal. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org).
- GTZ (1998), *Biogas Digest. Volume I-IV. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Mang, H.-P., y Z. Li (2010), *Technology Review of Biogas Sanitation. Draft – Biogas Sanitation for Blackwater, Brown Water, or for Excreta Treatment and Reuse in Developing Countries*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.
- Vögeli, Y., C. R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener y C. Zurbrugg (2014), *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).

Las tecnologías de esta sección tienen que ver con los productos generados en la interfase de usuario o con tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento en el sitio, para removerlos y/o transportarlos fuera del sitio a un sistema de tratamiento (semi)centralizado, o a su uso y/o disposición final. Son tecnologías basadas en alcantarillados (C.4-C.6), o en vaciado y transporte en contenedor, motorizado o manual (C.1-C.3, C.7).

- C.1 Bidón/tanque
- C.2 Vaciado y transporte manual
- C.3 Vaciado y transporte motorizado
- C.4 Alcantarillado condominial o simplificado
- C.5 Alcantarillado libre de sólidos
- C.6 Alcantarillado convencional por gravedad
- C.7 Estación de transferencia (tanque de retención subterráneo)

En cualquier contexto, la selección de tecnología suele depender de los siguientes factores:

- Tipo y cantidad de productos por transportar.
- Distancia por cubrir.
- Accesibilidad.
- Topografía.
- Características del suelo y de los acuíferos.
- Recursos financieros.
- Disponibilidad de proveedores de servicios.
- Consideraciones de gestión.



**Nivel de aplicación:**

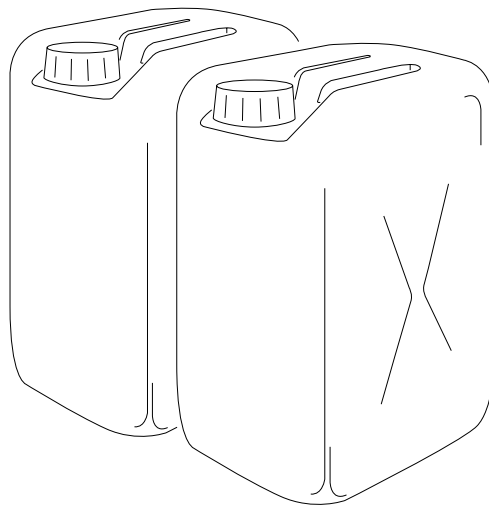
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas/Salidas:**

- Orina  Orina almacenada



**Los bidones son contenedores de plástico livianos, que se encuentran fácilmente y pueden ser transportados por una persona. Cuando se sellan, pueden usarse para almacenar o transportar orina de forma segura.**

La orina puede ser recolectada en bidones, o éstos se pueden llenar con la orina almacenada en tanques de almacenamiento/contenedores (S.1) para su transporte a los campos agrícolas o a una instalación de almacenamiento central. Donde los sistemas con separadores de orina son comunes, una microempresa puede especializarse en la recolección y el transporte de bidones usando, por ejemplo, bicicletas, burros, carros o camiones pequeños.

**Consideraciones de diseño** En promedio, una persona genera cerca de 1.2 L de orina al día; sin embargo, esta cantidad puede variar significativamente dependiendo del consumo de líquidos y del clima. Una familia de cinco personas podría llenar un bidón de 20 L con orina en unos tres a cuatro días. Puede ser almacenada en el sitio o transportada inmediatamente. Si el bidón está conectado directamente al sanitario

u mingitorio con una tubería, debe tenerse cuidado para minimizar su longitud puesto que los precipitados se acumularán. Las tuberías deben tener una pendiente pronunciada (> 1%), ningún ángulo agudo y diámetros grandes. Deben ser fácilmente accesibles en caso de obstrucciones.

Dado que los bidones se llenan rápidamente y es necesario cambiarlos o vaciarlos con frecuencia, se debe considerar el uso de un contenedor/tanque de almacenamiento grande para la recolección de la orina. La orina almacenada puede pasarse a los bidones (por ejemplo, usando una pequeña bomba) y ser transportada a los campos.

**Idoneidad** Un bidón bien cerrado es una forma efectiva de transportar orina en distancias cortas. Es barato y fácil de limpiar y de reutilizar. Este tipo de transporte sólo es apropiado para áreas donde los puntos de generación y uso (esto es, los campos y las viviendas) están cercanos y donde se producen cantidades relativamente pequeñas de orina. De lo contrario, es necesario un sistema más formal y eficiente de recolección y distribución. Para comunidades con sistemas de separación de orina, por ejemplo, puede ser más apropiado

tener un tanque de almacenamiento de orina grande, con el cual pueda usarse vaciado y transporte motorizado (C.3).

Los bidones pueden usarse en ambientes fríos (donde se congela la orina), siempre y cuando no estén completamente llenos. En los meses más cálidos, la orina almacenada puede utilizarse cuando sea necesaria para la agricultura.

**Aspectos de salud/aceptación** Las personas que intercambian o vacían bidones incurren en bajos riesgos para la salud, ya que la orina normalmente es estéril. Llevar bidones también plantea pocos riesgos para la salud si se sellan bien. Aunque llevar un bidón no es la actividad más agradable, es más conveniente y menos costosa que vaciar una fosa.

En algunos lugares, la orina tiene un valor económico y puede ser recolectada de las viviendas gratuitamente. Las familias que invierten el tiempo para transportar y usar su propia orina pueden verse recompensadas con un aumento en la producción agrícola, con una mejor nutrición o con un aumento en sus ingresos.

**Operación y mantenimiento** Para minimizar el crecimiento bacteriano, la acumulación de lodos y los malos olores, los bidones deben ser lavados con frecuencia. Debido a preocupaciones de seguridad y dificultades de transporte, ningún otro líquido (por ejemplo, aguas negras o aguas grises) debe ser transportado en bidones.

### Pros y contras

- + Está disponible en muchas partes y son fuertes.
- + Requiere muy bajos costos de capital y operación.
- + Potencial de creación local de empleos y generación de ingresos.
- + Fácil de limpiar y reusar.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- Pesado para su acarreo.
- Pueden ocurrir derrames.
- Olor de leve a fuerte a la hora de llenarlo y vaciarlo (dependiendo de las condiciones de almacenamiento).

### Referencias y lecturas adicionales

- Münch, E. von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.  
Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Richert, A., R. Gensch, H. Jönsson, T. A. Stenström y L. Dagerskog (2010), *Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production. EcoSanRes*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Rieck, C., E. von Münch y H. Hoffmann (2012), *Technology Review of Urine-Diverting Dry Toilets (UDDTs). Overview of Design, Operation, Management and Costs*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).

**Nivel de aplicación:**

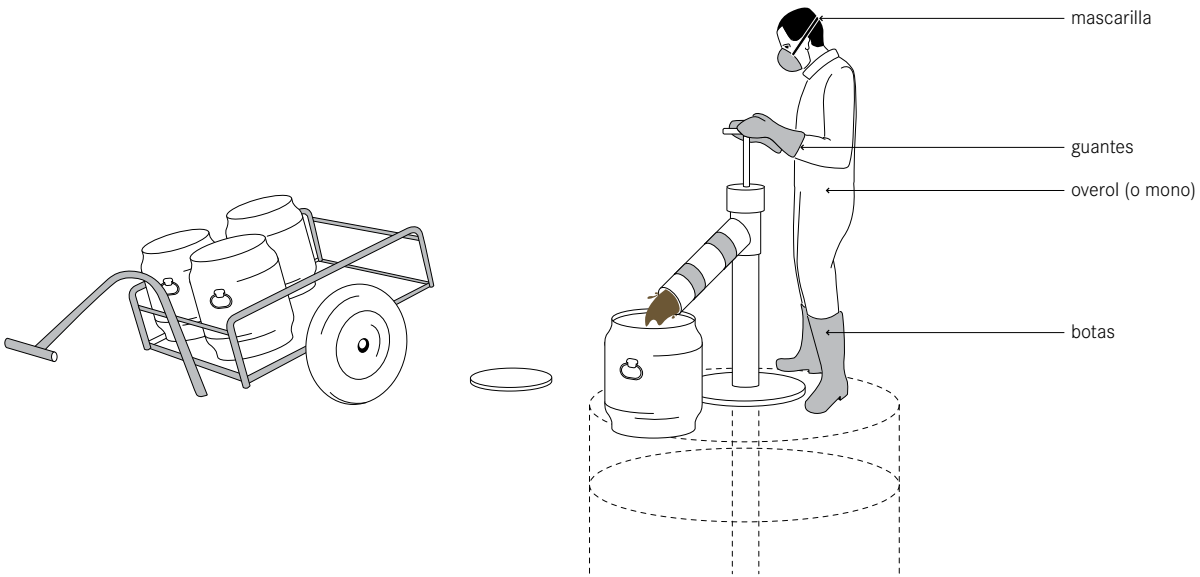
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas/Salidas:**

- Lodo
- Heces secas
- Composta
- Humus



**El vaciado y transporte manual se refiere a las formas en que las personas pueden vaciar o transportar manualmente lodo y productos sólidos generados en instalaciones de saneamiento *in situ*.**

El vaciado y transporte manual de cámaras y tanques puede hacerse de dos maneras:

- 1) con cubos y palas, o
- 2) con una bomba manual y portátil, especialmente diseñada para lodos (por ejemplo, Gulper, Rammer, MDHP o MAPET).

Algunas tecnologías de saneamiento sólo pueden ser vaciadas manualmente; por ejemplo, la fosa alterna (S.5) o la cámara de deshidratación (S.7). Estas tecnologías deben vaciarse con una pala porque el material es sólido y no puede eliminarse con una aspiradora o una bomba. Cuando el lodo es viscoso o acuoso debe vaciarse con bomba de mano o con un camión aspirador, y no con cubetas, ya que hay un alto riesgo de que la cámara colapse o que la persona se exponga a vapores tóxicos y lodos insalubres.

Las bombas manuales para lodos son invenciones relativamente nuevas que han resultado ser prometedoras y efectivas como soluciones de bajo costo para el vaciado

de lodos donde, debido al acceso, la seguridad o la economía, otras técnicas de vaciado de lodos no son posibles.

**Consideraciones de diseño** Una bomba manual para lodos (por ejemplo, Gulper) funciona bajo el mismo concepto que una bomba de agua: la parte baja de la tubería se inserta en la cámara o tanque mientras el operador permanece en la superficie. Conforme el operador empuja y jala la manija, bombea los lodos hacia arriba y luego los descarga a través del caño. Los lodos pueden ser recolectados en barriles, bolsas o carretillas, y ser removidos del sitio sin mucho peligro para el operador. Las bombas manuales se pueden hacer localmente con varillas de acero y válvulas en una funda de PVC.

Una MAPET (siglas en inglés para *tecnología manual de vaciado de cámara*) consiste en una bomba manual conectada a un tanque de vacío que está montado en una carretilla. Se conecta una manguera al tanque y se usa para succionar los lodos de la cámara. Cuando se gira la manija de la bomba manual, el aire del tanque de vacío se succiona y los lodos pasan aspirados hacia el tanque. Dependiendo de la consistencia de los lodos, la MAPET puede bombear hasta una altura de 3 m.

**Idoneidad** Las bombas manuales pueden usarse para líquidos y, hasta cierto punto, para lodos viscosos. La basura doméstica en la cámara dificulta el vaciado. El bombeo de lodo, que contiene desperdicios sólidos gruesos o grasa, puede obstruir el dispositivo, y los aditivos químicos pueden corroer las tuberías, los tanques y las bombas.

La bomba manual es una mejora significativa del método con cubeta y podría ser una oportunidad de negocio sostenible en algunas regiones. Las bombas manuales para lodos son adecuadas en áreas que no son accesibles por camiones aspiradores, donde no existe este servicio, o donde el vaciado de estos camiones es demasiado costoso. Son aptas para asentamientos informales, densos y urbanos, aunque el tipo y el tamaño de vehículo de transporte determina la distancia factible hasta el punto de descarga. Los vehículos grandes no pueden maniobrar en callejones o calles estrechas, mientras que los vehículos más pequeños no pueden recorrer grandes distancias. Estas tecnologías son más factibles cuando hay una estación de transferencia (C.7) cerca.

**Aspectos de salud/aceptación** Dependiendo del apoyo político y de factores culturales, los trabajadores que realizan el vaciado manualmente pueden ser vistos como importantes proveedores de servicios para la comunidad. Los programas estatales deben tratar de legitimar el trabajo de esta mano de obra y crear un entorno propicio al dar permisos y licencias, así como ayudar a legalizar la práctica del vaciado manual de letrinas.

El aspecto más importante del vaciado manual consiste en garantizar que los trabajadores estén debidamente protegidos con guantes, botas, mascarillas y trajes. Se deben solicitar vacunas y exámenes médicos regulares para quienes trabajan con lodos.

**Operación y mantenimiento** Es una práctica común añadir aceite o productos químicos durante el proceso de vaciado de la cámara para evitar malos olores. Esto, sin embargo, no es recomendable porque causa problemas en las unidades de tratamiento posteriores y genera amenazas a la salud adicionales para los trabajadores.

Si el acceso manual a los contenidos de una cámara requiere demoler la losa, puede ser más rentable utilizar una bomba manual para vaciar la letrina. No obstante, las bombas manuales no pueden vaciar todo la cámara y, por lo tanto, será necesario realizar el vaciado con más frecuencia (una vez al año).

Las bombas manuales para lodos requieren mantenimiento diario (limpieza, reparación y desinfección). Los trabajadores que vacían letrinas manualmente deben limpiar y mantener sus herramientas y su ropa protectora para evitar el contacto con el lodo.

### Pros y contras

- + Potencial de generación local de empleos e ingresos.
- + Las bombas manuales pueden ser construidas y reparadas con materiales localmente disponibles.
- + Bajo costo de inversión; costos de operación variables dependiendo de la distancia del transporte.
- + Proporciona servicios a áreas o comunidades sin alcantarillado.
- Puede haber derrames que representen posibles riesgos para la salud y generen olores ofensivos.
- Lento: vaciar las cámaras puede tomar varias horas o días, dependiendo del tamaño.
- La basura en las cámaras puede bloquear los tubos.
- Algunos dispositivos pueden requerir reparación especializada (soldadura).

### Referencias y lecturas adicionales

- Eales, K. (2005), *Bringing Pit Emptying out of the Darkness: A Comparison of Approaches in Durban, South Africa, and Kibera, Kenya*, Building Partnerships for Development in Water and Sanitation, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.bpdws.org](http://www.bpdws.org). (Una comparación de dos proyectos de vaciado manual.)
- Ideas at Work (2007) "The 'Gulper' - A Manual Latrine/ Drain Pit Pump", Ideas at Work, Phnom Penh, Corea. Disponible en [www.ideas-at-work.org](http://www.ideas-at-work.org). (Caso de estudio sobre una prueba del Gulper realizada por proveedores de servicio informales.)
- Muller, M., y J. Rijnsburger (1994), *MAPET. Manual Pit-latrines Emptying Technology Project. Development and Pilot Implementation of a Neighbourhood Based Pit Emptying Service with Locally Manufactured Handpump Equipment in Dar es Salaam, Tanzania, 1988-1992*, WASTE Consultants, Gouda, Nepal. Disponible en [www.washdoc.info](http://www.washdoc.info).
- Oxfam (2008), *Manual Desludging Hand Pump (MDHP) Resources*, Oxfam, Gran Bretaña, Oxford, Reino Unido. Disponible en [www.desludging.org](http://www.desludging.org) (Manual para el MDHP.)
- Pickford, J., y R. Shaw (1997), *Technical Brief No. 54: Emptying Pit Latrines*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. Disponible en [www.lboro.ac.uk/well](http://www.lboro.ac.uk/well).



**Nivel de aplicación:**

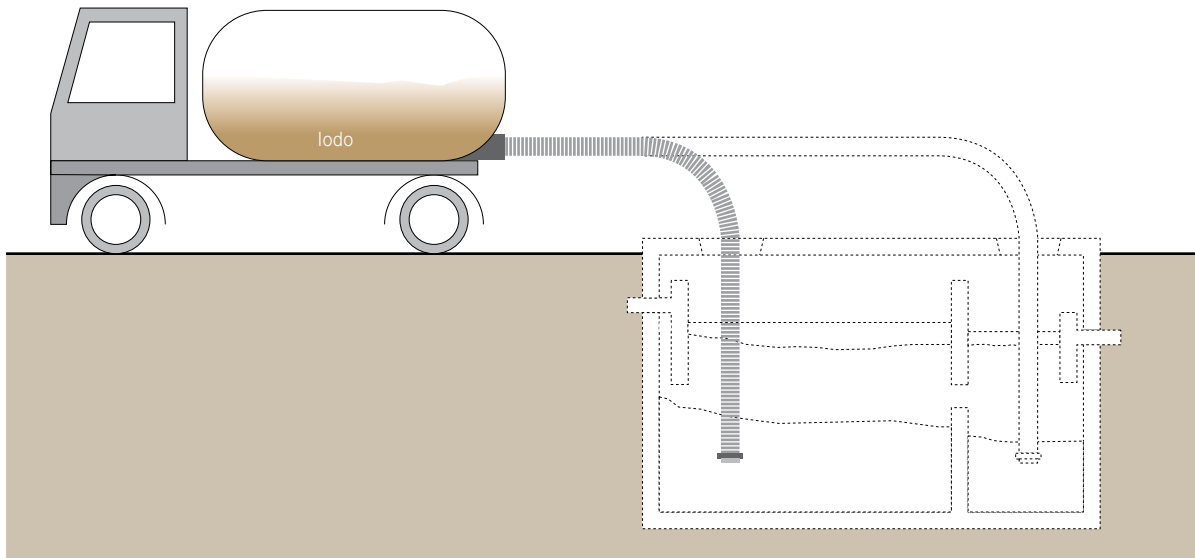
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda
- ★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas/Salidas:**

- Lodo
- Aguas negras
- Efluente
- Orina
- Orina almacenada



**El vaciado y transporte motorizado se refiere a un vehículo equipado con una bomba motorizada y un tanque de almacenamiento para vaciar y transportar lodos fecales y orina. Requiere humanos para operar la bomba y maniobrar la manguera, pero no para levantar ni transportar los lodos manualmente.**

El camión está equipado con una bomba conectada a una manguera que se baja al tanque (por ejemplo, fosa séptica, S.9) o cámara, y el lodo se bombea hacia el depósito o tanque del vehículo. Este tipo de diseño suele llamarse *camión aspirador*.

Se han creado vehículos y máquinas motorizadas como alternativas para áreas densamente pobladas con acceso limitado. Los diseños como Vacutug, Dung Beetle, Molsta o Kedoteng llevan un pequeño tanque para lodo y una bomba, y pueden recorrer caminos estrechos.

**Consideraciones de diseño** Generalmente, la capacidad de almacenamiento de un camión aspirador es de 3 a 12 m<sup>3</sup>. Los camiones locales suelen adaptarse para transporte de lodo, equipándolos con tanques y bombas. Los remolques de camionetas (*pick-ups*) y los tractores modificados pueden transportar alrededor de

1.5 m<sup>3</sup>, pero las capacidades varían. Los vehículos más pequeños, para zonas densamente pobladas, tienen una capacidad de 500 a 800 L. Éstos usan, por ejemplo, tracción en dos ruedas o transmisiones de motocicletas, y pueden alcanzar velocidades hasta de 12 km/h.

Las bombas generalmente sólo pueden aspirar hasta una profundidad de 2 a 3 m (dependiendo de su potencia) y deben estar situadas a menos de 30 m de la cámara. En general, cuanto más cerca esté la bomba de la cámara, más fácil será el vaciado.

**Idoneidad** Dependiendo de la tecnología de recolección y almacenamiento, el lodo puede ser demasiado denso para ser bombeado sin dificultades. En estas situaciones es necesario diluir los sólidos con agua para que fluyan más fácilmente, pero esto puede ser ineficiente y costoso. La arena y la basura dificultan mucho el vaciado y obstruyen la tubería o la bomba. Se necesitarán varios camiones para vaciar fosas sépticas grandes. Aunque los grandes camiones aspiradores no pueden tener acceso a zonas con caminos estrechos o no transitables, siguen siendo la norma para las autoridades de saneamiento y de los municipios. Estos camiones rara vez pueden hacer viajes a áreas remotas (por ejemplo,

en la periferia de una ciudad) ya que los ingresos generados no compensan el costo de combustible y tiempo. Por lo tanto, el sitio de tratamiento debe estar cerca de las áreas de servicio.

Las estaciones de transferencia (C.7) y los tratamientos adecuados también son esenciales para los proveedores de servicio que usan equipo motorizado de pequeña escala. Las experiencias de campo han demostrado que los diseños existentes para áreas urbanas densas son limitados en términos de su eficacia de vaciado y velocidad de desplazamiento, y de su capacidad para transitar pendientes, caminos abruptos y callejuelas. Por otra parte, las restricciones de demanda y mercado han impedido que sean comercialmente viables. Bajo circunstancias favorables, los vehículos pequeños, como Vacutug, pueden recuperar los costos de mantenimiento y operación. Sin embargo, el costo de inversión sigue siendo demasiado alto para operar un negocio rentable de manera sostenible.

Tanto la autoridad de saneamiento como los empresarios privados pueden operar camiones aspiradores, aunque el precio y el nivel de servicio puede variar de manera significativa. Los operadores privados pueden cobrar menos que los públicos, pero sólo pueden hacerlo si no descargan el lodo en una instalación certificada. Los proveedores de servicio municipales y privados deben trabajar juntos para cubrir toda la cadena de gestión de lodos fecales.

**Aspectos de salud/aceptación** El uso de un camión aspirador representa una mejora significativa para la salud en comparación con el vaciado manual, y ayuda a mantener la tecnología de recolección y almacenamiento. Sin embargo, los operadores de camiones no siempre son aceptados por la comunidad y pueden tener dificultades para encontrar lugares adecuados para desechar el lodo recolectado.

**Operación y mantenimiento** La mayoría de los camiones con bomba se fabrica en América del Norte, Asia o Europa. Por ende, en algunas regiones es difícil encontrar repuestos y mecánicos para reparar bombas o camiones que no funcionen. Los camiones nuevos son muy costosos y, a veces, difíciles de obtener. Por lo tanto, a menudo se utilizan camiones viejos, pero el ahorro se pierde por los altos costos de combustible y mantenimiento, que pueden representar más de dos tercios de los costos totales. Los propietarios de camiones deben tener en cuenta la necesidad de ahorrar dinero para la compra de repuestos, neumáticos y equipos costosos. La falta de mantenimiento preventivo a menu-

do es la causa de reparaciones más importantes. No se recomienda la adición de aditivos químicos para el desenlodado ya que tienden a corroer el tanque de lodo.

### Pros y contras

- + Generalmente, eliminación eficaz, rápida e higiénica del lodo.
- + Posibilidad de transporte eficiente si se usan camiones aspiradores grandes.
- + Potencial de generación local de empleos e ingresos.
- + Proporciona un servicio esencial a las áreas sin alcantarillados.
- No puede bombear lodo seco ni grueso (debe ser diluido con agua o removido manualmente).
- La basura en las cámaras puede bloquear la manguera.
- No puede vaciar totalmente las cámaras profundas debido a su limitada capacidad de succión.
- Muy alto costo de inversión; costos de operación variables dependiendo del uso y el mantenimiento.
- Contratar un camión aspirador puede ser inasequible para las familias de bajos ingresos.
- No todos los repuestos y los materiales están disponibles localmente.
- Puede tener dificultades con el acceso a ciertos lugares.

### Referencias y lecturas adicionales

- Boesch, A., y R. Schertenleib (1985), *Pit Emptying On-Site Excreta Disposal Systems. Field Tests with Mechanized Equipment in Gaborone (Botswana)*, International Reference Centre for Waste Disposal, Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Resumen integral de componentes técnicos, rendimiento con distintos tipos de lodo y mantenimiento.)
- Chowdhry, S., y D. Koné (2012), *Business Analysis of Fecal Sludge Management: Emptying and Transportation Services in Africa and Asia*, Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- O’Riordan, M. (2009), *Investigation into Methods of Pit Latrine Emptying. Management of Sludge Accumulation in VIP Latrines. WRC Project 1745*, Water Research Commission, Pretoria, Sudáfrica. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library). (Incluye un análisis detallado de experiencias de campo con Vacutug.)
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)

**Nivel de aplicación:**

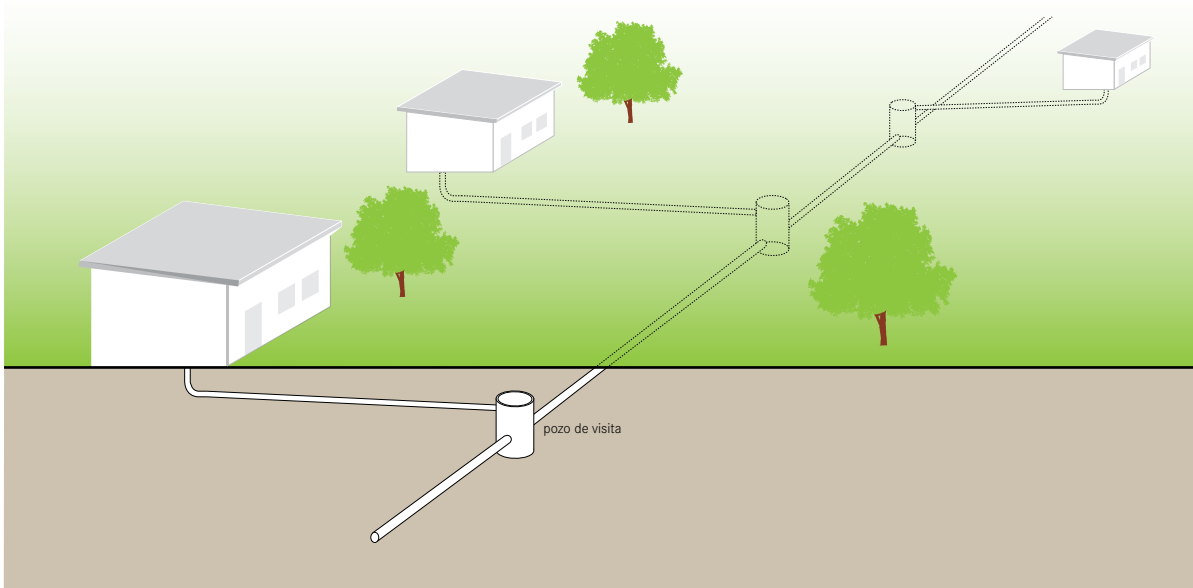
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda
- Compartido
- Público

**Entradas/Salidas:**

- Aguas negras
- Aguas grises
- Aguas cafés
- Efluente



**Un alcantarillado condominial o simplificado describe una red de alcantarillado que se construye utilizando conductos de menor diámetro dispuestos a poca profundidad y en una gradiente más plana que los alcantarillados convencionales (C.6). Un alcantarillado simplificado permite un diseño más flexible por un costo menor.**

Conceptualmente, el alcantarillado condominial o simplificado es el mismo que el alcantarillado convencional por gravedad, pero sin las normas de diseño innecesariamente conservadoras y con características de diseño que se adaptan mejor a la situación local. Los tubos se colocan dentro de los límites de la propiedad, a través de los jardines frontales o patios, en lugar de debajo del camino principal, lo que permite que los tubos sean menos y más cortos. Dado que el alcantarillado simplificado normalmente se instala en condominios, también pueden tener el nombre de alcantarillado condominial. Los tubos también pueden pasar en vías de acceso, que sean demasiado estrechas para el tráfico pesado, o por debajo del pavimento (aceras). Ya que el alcantarillado simplificado se instala donde no esté sujeto a tráfico pesado puede colocarse a poca profundidad y casi no requiere excavación.

**Consideraciones de diseño** A diferencia del alcantarillado convencional, que está diseñado para garantizar una velocidad mínima de autolimpieza, el diseño del alcantarillado simplificado se basa en una tensión de tracción mínima de  $1 \text{ N/m}^2$  (1 Pa) en el flujo máximo. El caudal mínimo debe ser de 1.5 L/s y el diámetro mínimo del alcantarillado debe medir 100 mm. Una gradiente de 0.5% suele ser suficiente. Por ejemplo, un alcantarillado de 100 mm colocado en una gradiente de 1 m a lo largo de 200 m servirá a unos 2 800 usuarios con un flujo de aguas residuales de 60 L/persona/día. También se recomienda usar tubos de PVC. La profundidad a la que deben colocarse depende principalmente de la cantidad de tráfico. Por debajo de las aceras normalmente se utilizan cubiertas de 40 a 65 cm. El diseño simplificado también puede aplicarse a los colectores; se puede colocar a poca profundidad, siempre y cuando esté lejos del tráfico.

Por lo general no es necesario contar con pozos de visita costosos. En cada unión o cambio de dirección bastará con colocar cámaras de inspección sencillas (o puntos de descarga). Las cajas de inspección también son usadas en la conexión de cada vivienda. Cuando las aguas grises de cocina contengan una cantidad significativa de aceite y

grasa (véase PRE, p. 100) se recomienda la instalación de trampas de grasa para evitar obstrucciones.

Las aguas grises deben ser descargadas en el alcantarillado para garantizar suficiente carga hidráulica. No se recomienda conectar aguas pluviales; sin embargo, en la práctica es difícil excluir todos los flujos de aguas pluviales, sobre todo cuando no hay otro tipo de drenaje. El diseño de las alcantarillas (y de la planta de tratamiento), por lo tanto, debe tener en cuenta el flujo adicional que pueda resultar de la afluencia de aguas pluviales.

**Idoneidad** El alcantarillado simplificado se puede instalar casi en todo tipo de establecimiento y es apropiado para zonas urbanas densas donde el espacio para tecnologías *in situ* es limitado. Debe considerarse como una opción donde haya suficiente densidad de población (alrededor de 150 personas por hectárea) y un suministro de agua fiable (al menos 60 L/persona/día). Donde el suelo sea rocoso o la capa freática esté alta, la excavación puede ser difícil. Bajo estas circunstancias, el costo de la instalación del alcantarillado es significativamente mayor que en condiciones favorables. El alcantarillado simplificado suele ser de 20 a 50% menos costoso que el alcantarillado convencional.

**Aspectos de salud/aceptación** Si su construcción y mantenimiento son adecuados, el alcantarillado simplificado es un medio higiénico y seguro para transportar aguas residuales. Los usuarios deben estar bien entrenados con respecto a los riesgos para la salud asociados con la eliminación de obstrucciones y el mantenimiento de cámaras de inspección.

**Operación y mantenimiento** Contar con usuarios responsables y capacitados es esencial para garantizar que el flujo no se interrumpa y para evitar obstrucciones por basura y otros sólidos. Se recomienda lavar a menudo las tuberías para evitar dichas obstrucciones, las cuales pueden eliminarse al abrir el punto de descarga y meter un alambre rígido por el tubo. Las cámaras de inspección deben vaciarse periódicamente para prevenir que la arenilla se desborde en el sistema. La operación del sistema depende de responsabilidades claramente definidas entre la autoridad del alcantarillado y la comunidad. Idealmente, las familias serán responsables del mantenimiento de las unidades de pretratamiento y de la parte condominial del alcantarillado. Sin embargo, en la práctica esto podría no ser factible porque los usuarios no pueden detectar problemas antes de que sean graves y costosos de reparar. En este caso se puede contratar a un proveedor de servicios privado o a un comité de usuarios para el mantenimiento.

### Pros y contras

- + Puede colocarse a menor profundidad y en una gradiente más plana que el alcantarillado convencional.
- + Menor costo de inversión que el alcantarillado convencional; bajos costos de operación.
- + Puede ampliarse a medida que crece una comunidad.
- + Las aguas grises pueden manejarse al mismo tiempo.
- + No requiere unidades de tratamiento primario en el sitio.
- Requiere reparaciones y remociones de obstrucciones con más frecuencia que un alcantarillado convencional por gravedad.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Las fugas plantean un riesgo de exfiltración de aguas residuales y de infiltración a los acuíferos, y son difíciles de identificar.

### Referencias y lecturas adicionales

- Bakalian, A., A. Wright, R. Otis y J. Azevedo Netto (1994), *Simplified Sewerage: Design Guidelines*, UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Pautas de diseño para cálculos manuales.)
- Mara, D. D. (1996a), *Low-Cost Sewerage*, Wiley, Chichester, Reino Unido. (Evaluación de distintos sistemas de bajo costo y casos de estudio.)
- Mara, D. D. (1996b), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido, pp. 109-139. (Resumen que incluye ejemplos de diseño.) Mara, D. D. (1996b), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido, pp. 109-139. (Resumen que incluye ejemplos de diseño.)
- Mara, D. D. (2005), “Sanitation for All in Periurban Areas? Only If We Use Simplified Sewerage”, *Water Science & Technology: Water Supply* 5 (6): 57-65. (Artículo que resume la tecnología y su posible papel en el saneamiento urbano.)
- Mara, D. D., A. Sleight y K. Tayler (2001), *PC-Based Simplified Sewer Design*, University of Leeds, Leeds, Reino Unido, Disponible en [www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/](http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/). (Documento integral de teoría y diseño, que incluye un programa para usarse como ayuda de diseño.)
- Watson, G. (1995), *Good Sewers Cheap? Agency-Customer Interactions in Low-Cost Urban Sanitation in Brazil*. *Water and Sanitation Division*, Banco Mundial, Washington, D. C. Disponible en [www.wsp.org](http://www.wsp.org). (Resumen de proyectos de gran escala en Brasil.)

**Nivel de aplicación:**

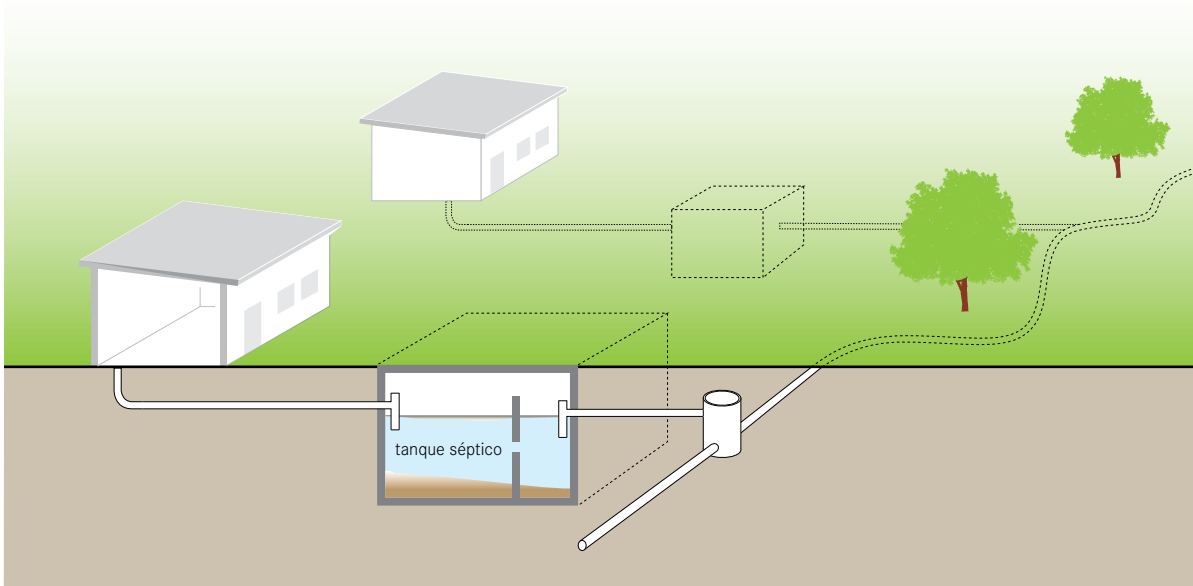
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas/Salidas:**

- Efluente



**Un alcantarillado libre de sólidos es una red de tuberías de diámetro pequeño que transporta aguas residuales sin sólidos o aguas pretratadas (por ejemplo, el efluente de una fosa séptica). Puede ser instalado a poca profundidad y no requiere un flujo mínimo de aguas residuales o una pendiente para funcionar.**

Los alcantarillados libres de sólidos también son conocidos como alcantarillados asentados, de pequeño calibre, de diámetro pequeño, de gravedad de grado variable, o de gravedad de efluente de fosa séptica. Una condición previa para las redes de alcantarillado libre de sólidos es un pretratamiento eficiente en viviendas. Un interceptor, por lo general la fosa séptica de una cámara (S.9), captura las partículas asentadas que pudieran tapar las tuberías pequeñas. El interceptor de sólidos también funciona para atenuar descargas máximas. Dado que hay poco riesgo de deposiciones y obstrucciones, el alcantarillado libre de sólidos no tiene autolimpieza, o sea, no necesita velocidad de flujo ni tensión de tracción mínimas. Requiere pocos puntos de inspección y puede tener gradientes inflexibles (esto es, pendientes negativas) y seguir la topografía. Cuando el alcantarillado sigue el contorno de la tierra, el derrame

puede variar entre el flujo de canal abierto y la presión (máxima potencia).

**Consideraciones de diseño** Si los interceptores son diseñados y operados correctamente, este tipo de alcantarillado no requerirá velocidades ni pendientes mínimas para la autolimpieza. Incluso las gradientes inflexibles son posibles, en tanto el extremo de aguas abajo del alcantarillado sea inferior al extremo de aguas arriba. En las secciones donde hay flujo de presión el nivel del agua en cualquier tanque interceptor debe ser mayor que la cabeza hidráulica dentro de la alcantarilla; de lo contrario, el líquido fluirá hacia el tanque. En puntos altos de secciones con flujo de presión la tubería debe estar ventilada. El alcantarillado libre de sólidos no debe instalarse en una gradiente uniforme con una alineación recta entre los puntos de inspección. La alineación puede ser curva para evitar obstáculos, permitiendo mayor tolerancia de construcción. Se necesita un diámetro mínimo de 75 mm para facilitar la limpieza.

No es necesario contar con pozos de registro costosos porque no se requiere acceso para maquinaria de limpieza. Los puntos de descarga y lavado son suficientes y están instalados en los extremos de aguas arriba, los

puntos altos, las intersecciones, o los principales cambios de dirección o tamaño. En comparación con los pozos de registro, los puntos de descarga pueden ser mejor sellados para impedir la entrada de aguas pluviales. Deben evitarse las aguas pluviales, ya que podrían superar la capacidad de los tubos y provocar obstrucciones por depósitos de arenilla. Lo ideal sería no tener aguas pluviales ni subterráneas en las alcantarillas, pero en la práctica debe esperarse que algunos empalmes no estén perfectamente sellados. Por lo tanto, se tienen que calcular los flujos de aguas pluviales y la infiltración a los acuíferos cuando se diseñe el sistema. El uso de tubos de PVC puede minimizar el riesgo de fugas.

**Idoneidad** Este tipo de alcantarillado es ideal para zonas urbanas y periurbanas con densidad media, y es menos adecuada para entornos de baja densidad o rurales. Funciona bien donde no haya espacio para un lecho de infiltración (D.8), o donde los efluentes no puedan ser desechados en el sitio (por ejemplo, debido a la baja capacidad de infiltración o a acuíferos altos). También es conveniente en terrenos ondulados o en suelos rocosos. Un alcantarillado libre de sólidos puede conectarse a las fosas sépticas existentes, donde la infiltración no es apropiada (por ejemplo, debido a una mayor densidad de viviendas o a un aumento en el uso del agua). Al contrario del alcantarillado simplificado (C.4), el alcantarillado libre de sólidos también puede ser usado donde el consumo doméstico de agua es limitado. Esta tecnología constituye una opción flexible que puede ser fácilmente extendida a medida que la población crece. Debido a las excavaciones poco profundas y al uso de menos materiales, puede ser construida por un costo considerablemente menor que un alcantarillado convencional (C.6).

**Aspectos de salud/aceptación** Si su construcción y mantenimiento son adecuados, el alcantarillado es un medio higiénico y seguro para transportar aguas residuales. Los usuarios deben estar bien entrenados con respecto a los riesgos para la salud asociados con la eliminación de obstrucciones y el mantenimiento de tanques interceptores.

**Operación y mantenimiento** Contar con usuarios responsables y capacitados es esencial para evitar las obstrucciones por basura y otros sólidos. Se recomienda desenlodar a menudo las fosas sépticas para garantizar el funcionamiento óptimo del alcantarillado, al igual que lavar con regularidad las tuberías para evitar obstrucciones. Deben tomarse precauciones para evitar las conexiones

ilegales, ya que es probable que no se instalen interceptores y que los sólidos entren al sistema.

La autoridad de alcantarillado, un comité de usuarios o un contratista privado deben hacerse responsables del manejo del sistema, en particular, para garantizar que los interceptores sean desenlodados a menudo y para prevenir conexiones ilegales.

### Pros y contras

- + No requiere una gradiente o velocidad de flujo mínima.
- + Puede ser usado donde el suministro de agua es limitado.
- + Menor costo de inversión que un alcantarillado convencional por gravedad; bajos costos de operación.
- + Puede ampliarse a medida que crece una comunidad.
- + Las aguas grises pueden manejarse al mismo tiempo.
- Requiere espacio para los interceptores.
- Los interceptores deben ser desenlodados con regularidad para evitar obstrucciones.
- Requiere capacitación y aceptación para ser usado correctamente.
- Necesita reparaciones y remociones de obstrucciones con más frecuencia que un alcantarillado convencional por gravedad.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Las fugas implican un riesgo de exfiltración de aguas residuales y de infiltración a los acuíferos, y son difíciles de identificar.

### Referencias y lecturas adicionales

- Azevedo Netto, J., y R. Reid (1992), *Innovative and Low-Cost Technologies Utilized in Sewerage*. Technical Series No. 29, Environmental Health Program, Pan American Health Organization, Washington, D. C. (Resumen y diagramas del componente, capítulo 5.)
- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGrawHill, Nueva York, pp. 355-364. (Resumen de diseño y consideraciones de construcción.)
- Mara, D. D. (1996a), *Low-Cost Sewerage*, Wiley, Chichester, Reino Unido. (Evaluación de distintos sistemas de bajo costo y casos de estudio.)
- Mara, D. D. (1996b), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido, pp. 93-108. (Resumen que incluye ejemplos de diseño.)
- Otis, R. J., y D. D. Mara (1985), *The Design of Small Bore Sewer Systems*. UNDP Interregional Project INT/81/047, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Resumen integral de diseño, instalación y mantenimiento.)

**Nivel de aplicación:**

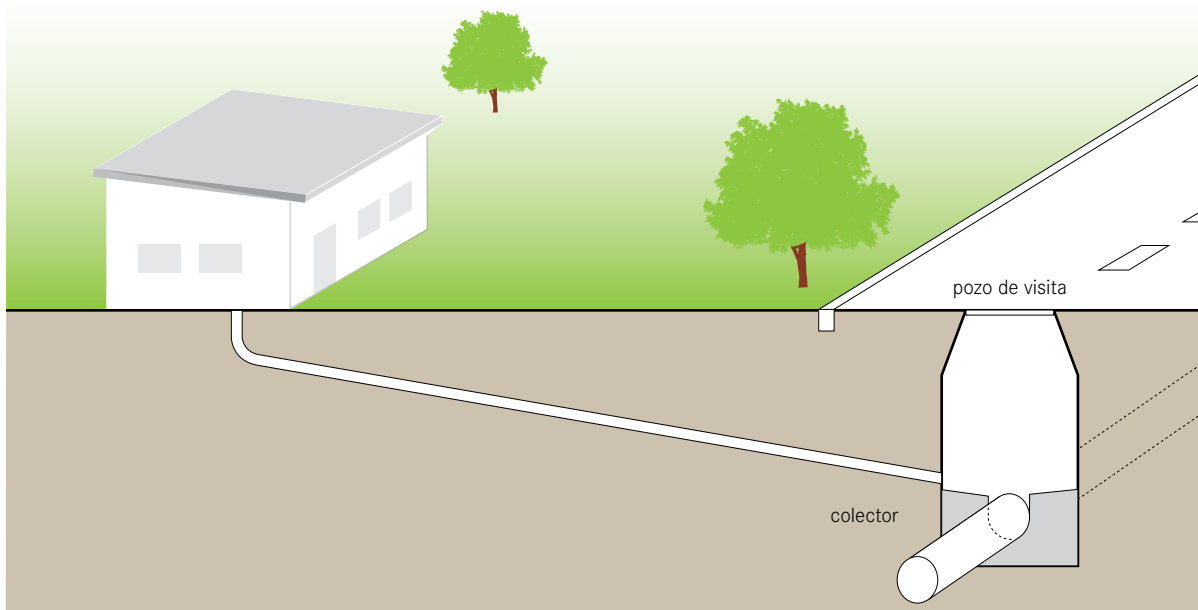
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda
- Compartido
- Público

**Entradas/Salidas:**

- Aguas negras
- Aguas cafés
- Aguas grises
- Aguas pluviales



**Los alcantarillados convencionales por gravedad son grandes redes de tuberías subterráneas que transportan aguas negras, aguas grises y, algunas veces, aguas pluviales de las viviendas a las instalaciones del sistema de tratamiento (semi)centralizado, utilizando gravedad (y bombas, cuando sea necesario).**

El sistema de alcantarillado convencional por gravedad se diseña con muchos ramales. Generalmente, la red se subdivide en red primaria (líneas principales de alcantarillado a lo largo de los principales caminos), red secundaria y red terciaria (a nivel de vecindario y de vivienda).

**Consideraciones de diseño** Normalmente, los alcantarillados convencionales por gravedad no requieren *pretratamiento in situ*, ni tratamiento primario ni almacenamiento de aguas residuales antes de ser descargados. El alcantarillado debe estar diseñado para mantener la velocidad de autolimpieza (por ejemplo, un flujo que no permita que se acumulen partículas). Para los alcantarillados de diámetros comunes se debe adoptar una velocidad de autolimpieza de 0.6 a 0.7 m/s durante las condiciones climáticas más secas. Se debe garantizar una gradiente de descenso constante a lo largo del al-

cantarillado para mantener los flujos de autolimpieza, los cuales puede requerir excavaciones profundas. Cuando no se puede mantener la gradiente de descenso, se debe instalar una estación de bombeo. Los alcantarillados primarios son instalados debajo de los caminos, de 1.5 a 3 m de profundidad, para evitar los daños causados por la carga de tráfico. La profundidad depende también de la capa freática, el punto más bajo por servir (por ejemplo, un sótano) y la topografía. La selección del diámetro del tubo depende de los flujos máximos y promedios proyectados. Los materiales más usados son el concreto, el PVC y el hierro dúctil o fundido.

Los pozos de registro se colocan en intervalos fijos por encima del alcantarillado, en las intersecciones del tubo y en los cambios de dirección de la tubería (vertical y horizontal). Los pozos de registro deben ser diseñados de forma que no sean una fuente de afluencia de aguas pluviales o de infiltración de agua subterránea.

Si los usuarios conectados descargan aguas residuales altamente contaminadas (por ejemplo, industria o restaurantes), puede ser necesario el tratamiento primario o en el sitio antes de la descarga al sistema de alcantarillado para reducir el riesgo de obstrucción y la carga de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Cuando el alcantarillado también lleva aguas pluviales (conocido como alcantarillado combinado), se requiere desbordarlo para evitar una sobrecarga hidráulica en las plantas de tratamiento durante las lluvias. Sin embargo, los alcantarillados combinados ya no se consideran una tecnología de vanguardia. Por el contrario, se recomienda la infiltración y la retención local o un sistema de drenaje separado para las aguas de lluvia. El sistema de tratamiento de aguas residuales requiere entonces dimensiones más pequeñas; por lo tanto, su construcción es más barata y tiene mayor eficiencia de tratamiento por menos aguas residuales diluidas.

**Idoneidad** Debido a que pueden ser diseñados para llevar grandes volúmenes, los alcantarillados convencionales por gravedad son apropiados para transportar aguas residuales a una planta con sistema de tratamiento (semi)centralizado. Su planificación, construcción, operación y mantenimiento requieren conocimiento experto. La construcción de sistemas de alcantarillado convencional en áreas urbanas densas es complicada, porque interrumpe el tráfico y las actividades urbanas. La construcción de alcantarillados convencionales por gravedad es costosa y, debido a la instalación de una línea de alcantarillado, es disruptiva y requiere mucha coordinación entre autoridades, empresas de construcción y propietarios, por lo que se debe contar con un sistema de gestión profesional.

El desplazamiento de tierra puede causar grietas en las paredes de los pozos de registros o en las juntas de las tuberías, convirtiéndose en una fuente de infiltración de acuíferos o de exfiltración de aguas residuales, y comprometiendo el funcionamiento del alcantarillado.

Los alcantarillados convencionales por gravedad se pueden construir en climas fríos ya que requieren pozos profundos; además, el flujo de agua constante y voluminoso resiste la congelación.

**Aspectos de salud/aceptación** Si su construcción y mantenimiento son adecuados, el alcantarillado es un medio higiénico y seguro para transportar aguas residuales. Esta tecnología proporciona un alto nivel de higiene y comodidad para el usuario. Sin embargo, dado que los desperdicios se conducen fuera del sitio para su tratamiento, los impactos ambientales y para la salud están determinados por el tratamiento que realice la planta aguas abajo.

**Operación y mantenimiento** Se emplean pozos de registro para las inspecciones de rutina y la limpieza del alcantarillado. Los desechos (por ejemplo, arenilla, pa-

los y trapos) pueden acumularse en los pozos de registro y bloquear las líneas. Para evitar obstrucciones causadas por grasa es importante informar a los usuarios sobre la adecuada disposición final del aceite y la grasa. Algunos métodos comunes para limpiar alcantarillados convencionales por gravedad son arrastre, chorro a presión, limpieza con varilla y limpieza con pelota de hule o caucho. Los alcantarillados pueden ser peligrosos debido a los gases tóxicos, por lo que su mantenimiento debe estar a cargo de profesionales; no obstante, en comunidades bien organizadas, el mantenimiento de las redes terciarias podría estar a cargo de un grupo capacitado de miembros de la comunidad. Siempre se debe usar protección adecuada al entrar en un alcantarillado.

### Pros y contras

- + Menos mantenimiento en comparación con el alcantarillado simplificado y el libre de sólidos.
- + Las aguas grises y pluviales pueden manejarse al mismo tiempo.
- + Puede manejar arenilla y otros sólidos, así como grandes volúmenes de flujo.
- Muy alto costo de inversión; altos costos de mantenimiento y operación.
- Se debe mantener una velocidad mínima para evitar la deposición de sólidos en el alcantarillado.
- Requiere excavaciones profundas.
- Difícil y costoso de ampliar conforme cambia y crece una comunidad.
- Requiere diseño y mantenimiento experto, así como mano de obra en construcción calificada.
- Las fugas plantean un riesgo de exfiltración de aguas residuales y de infiltración a los acuíferos, y son difíciles de identificar.

### Referencias y lecturas adicionales

- Bizier, P. (ed.) (2007), *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction. Second Edition. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 60, WEF MOP No. FD-5*, American Society of Civil Engineers, Nueva York. (Texto de diseño estándar utilizado en Norteamérica, aunque los códigos y los estándares locales deben evaluarse antes de escoger un manual de diseño.)
- Tchobanoglous, G. (1981), *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*, McGraw-Hill, Nueva York.
- U. S. EPA (2002), *Collection Systems Technology Fact Sheet. Sewers, Conventional Gravity. 832-F-02-007*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov). (Descripción de tecnología que incluye criterios de diseño detallados e información sobre operación y mantenimiento.)



**Nivel de aplicación:**

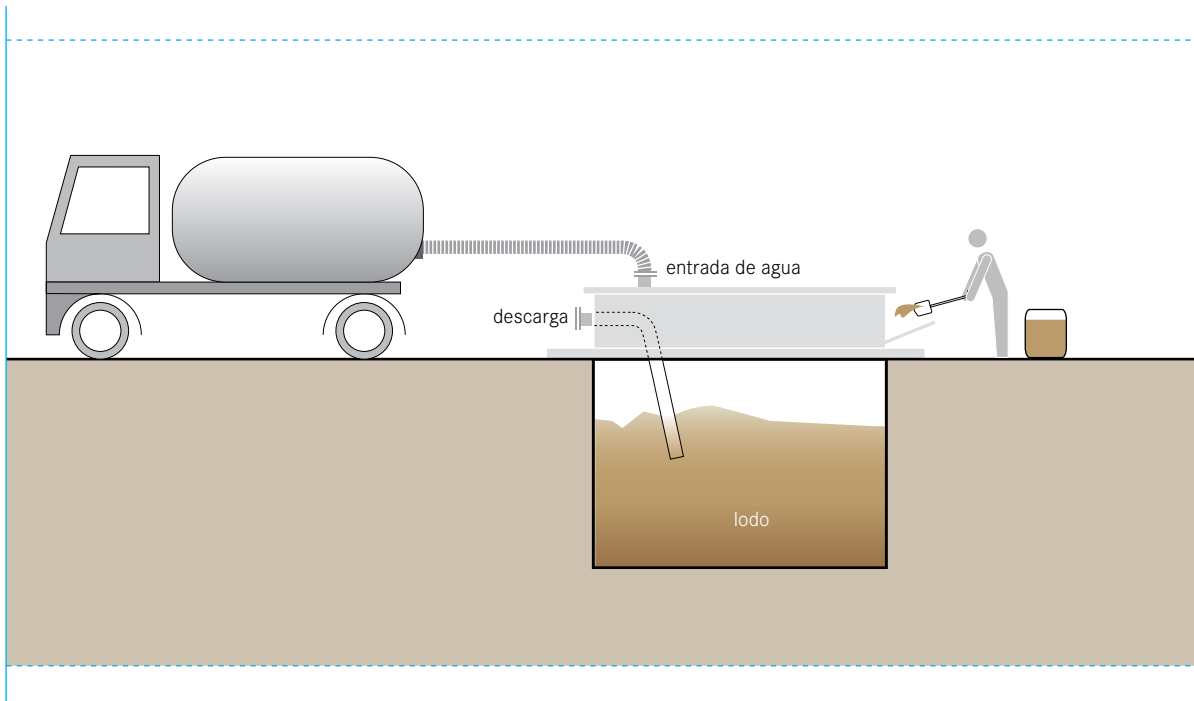
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas/Salidas:**

- Lodo



**Las estaciones de transferencia o tanques de retención subterráneos actúan como puntos intermedios de desecho para lodos fecales cuando éstos no pueden ser fácilmente transportados a una instalación con sistema de tratamiento (semi)centralizado. Se necesita un camión aspirador para vaciar la estación de transferencia cuando está llena.**

Los operadores de equipos de vaciado de lodo motorizados o manual de pequeña escala (véase C.2 y C.3) descargan el lodo en una estación de transferencia local en lugar de hacerlo en un botadero ilegal y evitan viajar hasta un sitio lejano para el tratamiento o la disposición final. Cuando la estación de transferencia se llena, un camión aspirador vacía el contenido y lleva el lodo a un centro de tratamiento adecuado. Es posible que las municipalidades o las autoridades de alcantarillado cobren por permisos para descargar en la estación de transferencia con el fin de compensar los costos de operación y mantenimiento de las instalaciones.

En entornos urbanos la estación de transferencia debe ubicarse con cuidado; de lo contrario, los malos olores podrían convertirse en una molestia, sobre todo si el mantenimiento no es adecuado.

**Consideraciones de diseño** Una estación de transferencia consiste en un lugar de estacionamiento para camiones aspiradores o carretillas para lodos, un punto de conexión para mangueras de descarga y un tanque de almacenamiento. El punto de descarga debe ser construido lo suficientemente bajo para minimizar derrames cuando los trabajadores vacían manualmente las carretillas. Además, la estación de transferencia debe incluir un respiradero, una rejilla para remover la basura de mayor tamaño (escombros) y una instalación de lavado para vehículos. El tanque de retención debe estar bien fabricado para evitar lixiviación o infiltración de agua superficial.

Una variación es la estación de descarga al alcantarillado (SDS), la cual es como una estación de transferencia, pero está directamente conectada a un alcantarillado convencional por gravedad. El lodo que desembocaba en la SDS es liberado en el alcantarillado principal directamente o en intervalos (por ejemplo, por bombeo) para optimizar el rendimiento del alcantarillado y de la planta de tratamiento de aguas residuales, o para reducir las cargas máximas.

Las estaciones de transferencia pueden equiparse con dispositivos de grabación digital de datos para rastrear

la cantidad, el tipo de afluente y el origen, así como para recopilar datos sobre los individuos que descargan allí. De esta manera, el operador puede recopilar información detallada para planear y adaptarse a las diferentes cargas de forma más precisa.

El sistema para expedir permisos o cargar tarifas de acceso debe ser cuidadosamente diseñado para que quienes más necesitan del servicio no se vean excluidos debido al alto costo de la carga, mientras siguen generando ingresos suficientes para operar de manera sostenible y mantener la estación de transferencia.

**Idoneidad** Las estaciones de transferencia son apropiadas para áreas densas y urbanas donde no hay otros puntos para descargar el lodo fecal. Establecer múltiples estaciones de transferencia puede contribuir a reducir la incidencia de botaderos ilegales y promover el mercado de vaciado.

Las estaciones de transferencia son adecuadas, sobre todo, para el vaciado de lodo de pequeña escala. En las grandes ciudades pueden reducir los costos en que incurren los operadores de camiones por la disminución en las distancias y en el tiempo de espera en atascos de tráfico. Los proveedores de servicios locales pueden descargar el lodo en la estación de transferencia durante el día, mientras que los camiones de gran tamaño pueden vaciar los tanques e ir a la planta de tratamiento por la noche, cuando el tráfico es menor.

La estación de transferencia debe estar ubicada donde sea accesible, conveniente y fácil de usar. Dependiendo de su mantenimiento, los olores podrían convertirse en un problema para los residentes locales. Sin embargo, los beneficios obtenidos de ellos en comparación con los botaderos ilegales al aire libre compensan esos problemas.

**Aspectos de salud/aceptación** Las estaciones de transferencia tienen el potencial de aumentar significativamente la salud de una comunidad, al proporcionar una solución económica y local para la disposición final de lodos fecales. Al proporcionar una estación de transferencia, los proveedores de servicios independientes o de pequeña escala ya no se ven obligados a descargar el lodo de manera ilegal, y los propietarios de viviendas están más motivados para vaciar sus cámaras. Cuando éstas se vacían a menudo y se minimizan los vertederos ilegales, la salud de una comunidad puede mejorar de manera significativa. La ubicación debe seleccionarse con cuidado para maximizar la eficiencia y minimizar malos olores y problemas con los residentes cercanos.

**Operación y mantenimiento** Las rejillas deben ser limpiadas con frecuencia para garantizar un flujo constante y evitar obstrucciones. La arena, la arenilla y el lodo consolidado también deben eliminarse periódicamente del tanque. Debe existir un sistema bien organizado para vaciar en la estación de transferencia; si el tanque se llena y se desborda, no es mejor que una cámara inundada. La base y la zona de carga deben limpiarse con regularidad para minimizar los malos olores, las moscas y otros vectores.

### Pros y contras

- + Hace que el transporte de lodo a la planta de tratamiento sea más eficiente, en especial cuando están involucrados proveedores de servicios en pequeña escala con vehículos lentos.
- + Puede reducir el vaciado ilegal de lodos fecales.
- + Los costos se pueden compensar con permisos de acceso.
- + Potencial de creación local de empleos y generación de ingresos.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Puede producir malos olores si el mantenimiento no es adecuado.

### Referencias y lecturas adicionales

- African Development Fund (2005), *Accra Sewerage Improvement Project (ASIP), Appraisal Report*, Infrastructure Department Central and West Regions, Abidjan, Costa de Marfil. Disponible en [www.afdb.org](http://www.afdb.org).
- Boot, N. L., y R. E. Scott (2008), *Faecal Sludge in Accra, Ghana: Problems of Urban Provision. Proceedings: Sanitation Challenge: New Sanitation Concepts and Models of Governance*, Wageningen, Países Bajos.
- Chowdhry, S., y D. Koné (2012), *Business Analysis of Faecal Sludge Management: Emptying and Transportation Services in Africa and Asia*, Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- U. S. EPA (1994), *Guide to Septage Treatment and Disposal. EPA/625/R-94/002*, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Ohio. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

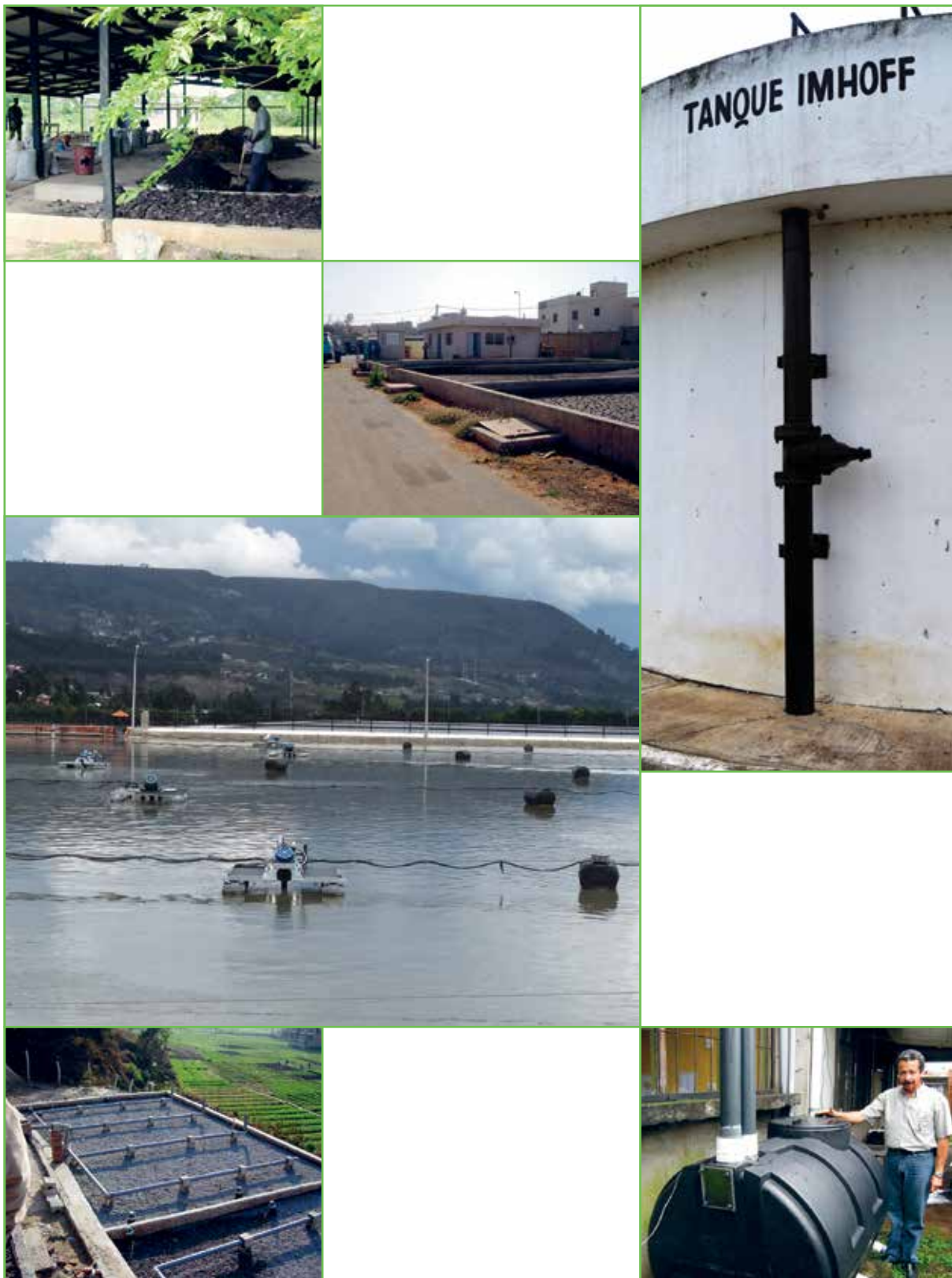
Esta sección describe las tecnologías de tratamiento generalmente apropiadas para grupos de usuarios grandes (esto es, desde aplicaciones semicentralizadas a nivel de vecindario hasta aplicaciones centralizadas a nivel de ciudad). Están diseñadas para adaptarse a volúmenes de flujos crecientes y proporcionan, en la mayoría de los casos, mayor extracción de nutrientes, orgánicos y patógenos, sobre todo en comparación con las tecnologías de tratamiento para viviendas (véase S). Sin embargo, los requisitos de operación, mantenimiento y energía de las tecnologías dentro de este grupo funcional suelen ser superiores a los de las tecnologías de pequeña escala en el nivel S.

Las tecnologías se dividen en dos grupos. Las T.1-T.12 son principalmente para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes; mientras que las T.13-T.17 son principalmente para el tratamiento de lodos. Las tecnologías de pretratamiento y postratamiento también se describen (fichas tecnológicas PRE y POST), aunque no siempre son necesarias.

PRE	Tecnologías de pretratamiento	
T.1	Sedimentador	T.1-T.12 Tecnologías para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes
T.2	Tanque Imhoff	
T.3	Reactor anaerobio con deflectores (ABR por sus siglas en inglés)	
T.4	Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	
T.5	Lagunas de estabilización	
T.6	Laguna aireada	
T.7	Humedal artificial de flujo superficial (HFS)	
T.8	Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial	
T.9	Humedal artificial de flujo vertical	
T.10	Filtro percolador	
T.11	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	
T.12	Lodos activados	
T.13	Laguna de sedimentación/espesamiento	T.13-T.17 Tecnologías para el tratamiento de lodos
T.14	Lecho de secado sin plantas	
T.15	Lecho de secado con plantas	
T.16	Co-compostaje	
T.17	Reactor de biogás	
POST	Filtración terciaria y desinfección	

Al diseñar un esquema de sistema de tratamiento (semi)centralizado, el ingeniero debe crear una combinación significativa de estas tecnologías para lograr el objetivo general del tratamiento (por ejemplo, una configuración de múltiples etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario). En cualquier contexto, la elección de la tecnología generalmente depende de los siguientes factores:

- Tipo y cantidad de productos por tratar (incluyendo futuros desarrollos)
- Productos de efluente deseados (uso final y/o requisitos legales de calidad)
- Recursos financieros
- Disponibilidad local de materiales
- Disponibilidad de espacio
- Características de suelo y acuíferos
- Disponibilidad de una fuente de energía constante
- Habilidades y capacidades (para diseño y operación)
- Consideraciones de manejo



**Nivel de aplicación:**

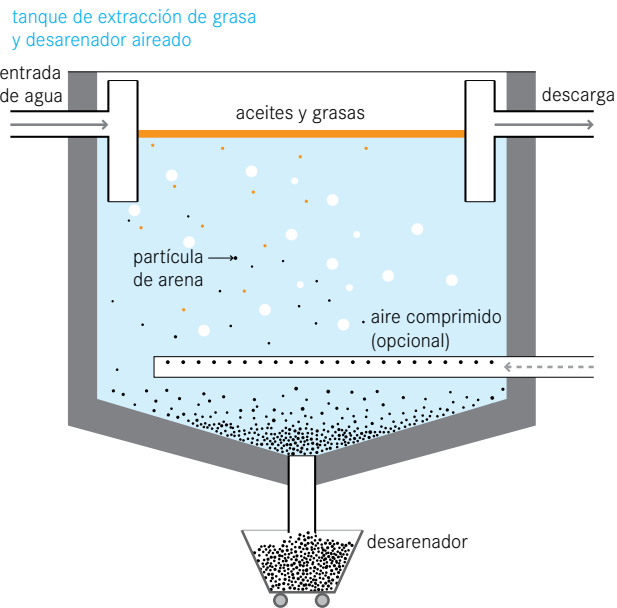
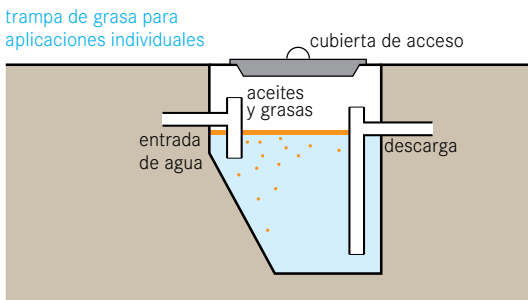
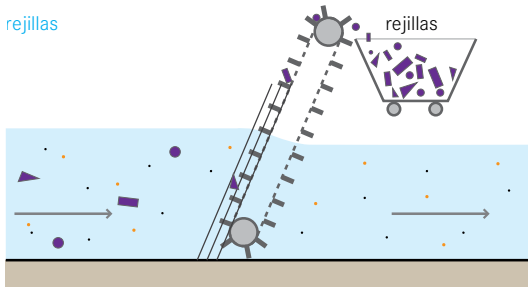
- ★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★★★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★ Vivienda
- ★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:**  Aguas negras  Aguas cafés  Aguas grises  Lodo

**Salidas:**  Aguas negras  Aguas cafés  Aguas grises  Lodo  Productos de pretratamiento



**El pretratamiento es la eliminación preliminar de los componentes en aguas residuales o lodos, como aceite, grasa y otros sólidos (por ejemplo, arena, fibras y basura). Si se construyen y se ubican antes de una tecnología de conducción o tratamiento, las unidades de pretratamiento pueden retardar la acumulación de sólidos y minimizar obstrucciones posteriores. También pueden ayudar a reducir la abrasión de piezas mecánicas y prolongar la vida útil de la infraestructura de saneamiento.**

El aceite, la grasa y los sólidos suspendidos pueden deteriorar la eficiencia del transporte o el tratamiento por atascamiento y desgaste. Por lo tanto, la prevención y la remoción temprana de estas sustancias es esencial para la durabilidad de un sistema de tratamiento. Las tecnologías de pretratamiento usan mecanismos de remoción física, como rejillas, flotación, asentamiento y filtración. Las medidas de control técnicas y de comportamiento en el ámbito de vivienda o de edificio pueden reducir las cargas de contaminación y mantener bajos los requisitos del pretratamiento. Por ejemplo, los desperdicios sólidos y el aceite de cocina deben ser recolectados por separado, en lugar de ser desechados en el sistema de saneamiento.

Si se equipan los fregaderos, las duchas y similares con rejillas, filtros y sellos de agua apropiados se puede prevenir que los sólidos entren en el sistema. Las cámaras de inspección del alcantarillado deben estar siempre cerradas con tapas para el pozo de visita, con el fin de evitar que materiales extraños penetren en la alcantarilla.

**Trampa de grasa** El objetivo de la trampa de grasa es atrapar el aceite y la grasa para su fácil recolección y eliminación. Las trampas de grasa son cámaras hechas de ladrillo, concreto o plástico, con una tapa para sellar los malos olores. Los deflectores en la entrada y la salida previenen la turbulencia en la superficie del agua y separan los componentes flotantes del efluente. Una trampa de grasa puede ubicarse directamente bajo del fregadero o, para grandes cantidades de aceite y grasa, se puede instalar un interceptor de grasa fuera de la vivienda. Una trampa bajo el fregadero es relativamente barata, pero se debe limpiar con frecuencia (de una vez por semana a una vez por mes), mientras que un interceptor de grasa más grande tiene un mayor costo de inversión, pero está diseñado para ser limpiado cada 6 o 12 meses. Si son de gran tamaño, las trampas de grasa también pueden eliminar arenilla y otros sólidos me-

dante sedimentación, similar a lo que sucede en las fosas sépticas (S.9).

**Rejilla** La rejilla tiene como objetivo evitar que los sólidos gruesos (plásticos, trapos y otros tipos de basura) entren al sistema de alcantarillado o a la planta de tratamiento. Los sólidos quedan atrapados en las rejillas o armazones inclinados. El espacio entre las barras de la rejilla suele ser de 15 a 40 mm, dependiendo de los patrones de limpieza. Las rejillas pueden limpiarse a mano o con un rastrillo mecánico. Este último permite una remoción de sólidos más frecuente y, por ende, funciona para un diseño más pequeño.

**Desarenador** Los desarenadores (o trampas de arena) permiten eliminar fracciones inorgánicas pesadas mediante asentamiento cuando las tecnologías de tratamiento se puedan ver dañadas u obstruidas por la presencia de arena. Hay tres tipos generales de desarenadores: flujo horizontal, aireado y cámaras de vórtice. Todos estos diseños permiten que las partículas de arenilla pesada se asienten, mientras que las partículas más livianas, principalmente orgánicas, permanecen suspendidas.

**Idoneidad** Las trampas de grasa se deben aplicar donde se descargan cantidades considerables de aceite y grasa. Pueden ser instaladas en viviendas, restaurantes o edificios industriales. La eliminación de la grasa es importante donde hay riesgo inmediato de obstrucción (por ejemplo, un humedal artificial para tratamiento de aguas grises).

La rejilla es esencial donde los desperdicios sólidos pueden entrar al sistema de alcantarillado o a las plantas de tratamiento. Las trampas de basura (por ejemplo, mallas) también se pueden aplicar en puntos estratégicos, como en los drenajes de los mercados.

Un desarenador ayuda a prevenir los depósitos de arena y la abrasión en plantas de tratamiento de aguas residuales; en particular, donde los caminos no están pavimentados o las aguas pluviales pueden entrar en el sistema de alcantarillado.

Las lavanderías liberan grandes cantidades de fibras y partículas de tejidos con sus aguas residuales, por lo que deben estar equipadas con dispositivos para atrapar la pelusa.

**Aspectos de salud/aceptación** Las lavanderías liberan grandes cantidades de fibras y partículas de tejidos con sus aguas residuales, por lo que deben estar equipadas con dispositivos para atrapar la pelusa.

**Operación y mantenimiento** Todas las instalaciones de pretratamiento deben ser monitoreadas y limpiadas regularmente para garantizar su adecuado funcionamiento. Si el mantenimiento es muy poco, se pueden generar olores fuertes que provoquen la degradación del material acumulado. El mantenimiento inadecuado de las unidades de pretratamiento puede conducir a una eventual falta de elementos aguas abajo en el sistema de saneamiento.












Los productos de pretratamiento deben desecharse de la misma forma que los desperdicios sólidos y de manera ambientalmente segura. En el caso de la grasa, ésta puede ser usada para la producción de energía (por ejemplo, biodiesel o codigestión), o ser reciclada para su reutilización.

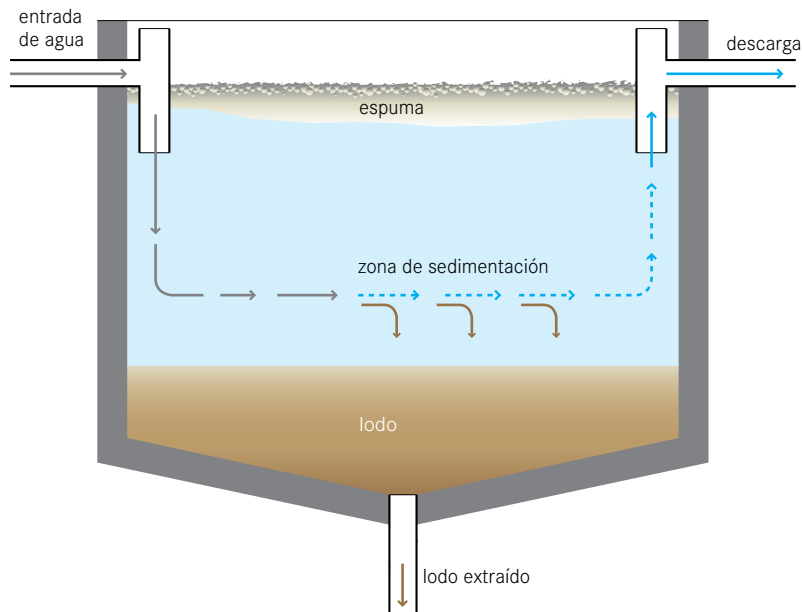
### Pros y contras

- + Costos de operación y capital relativamente bajos.
- + Reducción del riesgo de deteriorar tecnologías posteriores de tratamiento y/o conducción.
- + Mayor durabilidad y vida útil de los equipos de saneamiento.
- Requiere mantenimiento frecuente.
- Remover los sólidos y las grasas no es agradable.

### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y C. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York.
- Morel, A., y S. Diener (2006), *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Robbins, D. M., y G. C. Ligon (2014), *How to Design Wastewater Systems for Local Conditions in Developing Countries*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York.
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.
- Wastewater Solutions for Development, en <http://watsanexp.ning.com/page/pretreatment-and-grease>. (Última consulta: febrero de 2014.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Aguas negras  Aguas cafés  Aguas grises
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Efluente  Lodo
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



**Un sedimentador es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales. Está diseñado para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. También se le llama decantador, tanque de asentamiento o tanque de sedimentación. La baja velocidad del flujo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan, mientras los componentes que pesan menos que el agua flotan hacia la superficie.**

La sedimentación también se usa para la eliminación de arenilla (véase PRE, p. 100), para clarificación secundaria en el tratamiento de lodos activados (véase T.12), y después de la coagulación/precipitación química o por asentamiento de lodo. Esta ficha tecnológica aborda el uso de sedimentadores primarios, que normalmente se instalan después de una tecnología de pretratamiento.

Los sedimentadores pueden reducir de manera significativa los sólidos suspendidos (remoción de 50 a 70%) y la materia orgánica (remoción de 20 a 40% de DBO), y garantizar que estos componentes no afecten negativamente los procesos de tratamiento posteriores.

Los sedimentadores tienen muchas formas; algunas veces incluso cumplen funciones adicionales. Pueden ser

tanques independientes o integrados en unidades de tratamiento combinadas. Otras tecnologías en este compendio también tienen una función de sedimentación primaria o incluyen un compartimento para asentamiento primario:

- La fosa séptica (S.9), donde la baja frecuencia de remoción de lodo conduce a la degradación anaerobia del lodo.
- El reactor anaerobio con deflectores (S.10/T.3) y el filtro anaerobio de flujo ascendente (S.11/T.4), que generalmente incluyen un sedimentador como primer compartimento. Sin embargo, el sedimentador también puede ser construido por separado; por ejemplo, en plantas de tratamiento municipales o unidades prefabricadas y modulares.
- El reactor de biogás (S.12/T.17), que puede ser considerado un sedimentador diseñado para la digestión anaerobia y la producción de biogás.
- El tanque Imhoff (T.2) y el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA, T.11), diseñados para la digestión del lodo sedimentado y para evitar que los gases o las partículas de lodo entren/pasen de la sección inferior a la sección superior.
- Las lagunas de estabilización (WSP, T.5), de las cuales

- la primera laguna aerobia es para sedimentación.
- Las lagunas de sedimentación/asentamiento (T.13) que están diseñadas para separar los sólidos de los líquidos en el lodo fecal.
- El alcantarillado libre de sólidos (C.5), que incluye tanques interceptores en su construcción.

**Consideraciones de diseño** El principal propósito de un sedimentador es facilitar la sedimentación al reducir la turbulencia y la velocidad de la corriente de aguas residuales. Los sedimentadores son tanques circulares o rectangulares que están diseñados para un tiempo de retención hidráulica de 1.5 a 2.5 horas. Necesita menos tiempo si el nivel de DBO no baja demasiado para el siguiente paso biológico. El tanque debe diseñarse para garantizar un desempeño satisfactorio en el flujo máximo. Con el fin de evitar las corrientes inducidas y los cortocircuitos, así como para conservar la espuma dentro de la laguna, es importante construir una salida y una entrada, con un sistema eficiente de distribución y recolección (separadores, vertederos o tubos en forma de T).

Dependiendo del diseño, el desenlodado puede realizarse con bomba de mano, suspensión, bomba de vacío o por gravedad, utilizando una salida baja. Los sedimentadores primarios grandes a menudo están equipados con colectores mecánicos que raspan continuamente los sólidos asentados hacia una tolva de lodo en la base del tanque, desde donde se bombea a las instalaciones de tratamiento de lodos. Si el fondo del tanque está lo suficientemente inclinado, se facilita la remoción de lodo. La eliminación de espuma también puede realizarse manualmente o mediante un mecanismo de recolección.

La eficacia del sedimentador primario depende de factores como las características de las aguas residuales, el tiempo de retención y el porcentaje de retirada de lodo. Puede reducirse mediante circulación inducida por el viento, convección térmica y corrientes de densidad debido a diferenciales de temperatura y, en climas cálidos, debido a estratificación térmica. Estos fenómenos pueden provocar cortocircuitos.

Existen varias posibilidades para mejorar el rendimiento de los sedimentadores, como la instalación de tubos y placas inclinadas (laminillas), que aumentan la superficie de asentamiento, o el uso de coagulantes químicos.

**Idoneidad** La elección de una tecnología para asentar los sólidos se rige por el tamaño y el tipo de instalación, la fuerza de las aguas residuales, las capacidades de manejo y la conveniencia de un proceso anaerobio, con o sin producción de biogás.

Las tecnologías que ya incluyen algún tipo de sedimenta-

ción primaria (antes mencionadas) no requieren un sedimentador por separado. No obstante, muchas tecnologías de tratamiento requieren la eliminación preliminar de sólidos para funcionar correctamente. Aunque la instalación de un tanque primario de sedimentación se omite a menudo en las plantas pequeñas de lodos activados, es de particular importancia para las tecnologías que usan un material de filtro. Los sedimentadores también pueden instalarse como tanques de retención de aguas pluviales para eliminar una porción de los sólidos orgánicos que, de otro modo, se descargarían directamente en el entorno.

**Aspectos de salud/aceptación** Para prevenir el desprendimiento de gases olorosos es necesario remover el lodo con frecuencia. El lodo y la espuma deben manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos; requieren tratamiento adicional y una adecuada disposición final. Los trabajadores que entren en contacto con el efluente, la espuma o el lodo deben usar ropa de protección adecuada.

**Operación y mantenimiento** En sedimentadores que no están diseñados para procesos anaerobios, la remoción regular del lodo es necesaria para prevenir condiciones sépticas, así como la acumulación y el desprendimiento de gas que pueda obstaculizar el proceso de sedimentación al volver a suspender parte de los sólidos asentados. El lodo transportado a la superficie por las burbujas de gas es difícil de remover y puede pasar a la siguiente etapa de tratamiento.

La eliminación frecuente de espuma y su adecuado tratamiento/disposición final, ya sea con el lodo o por separado, también es muy importante.












### Pros y contras

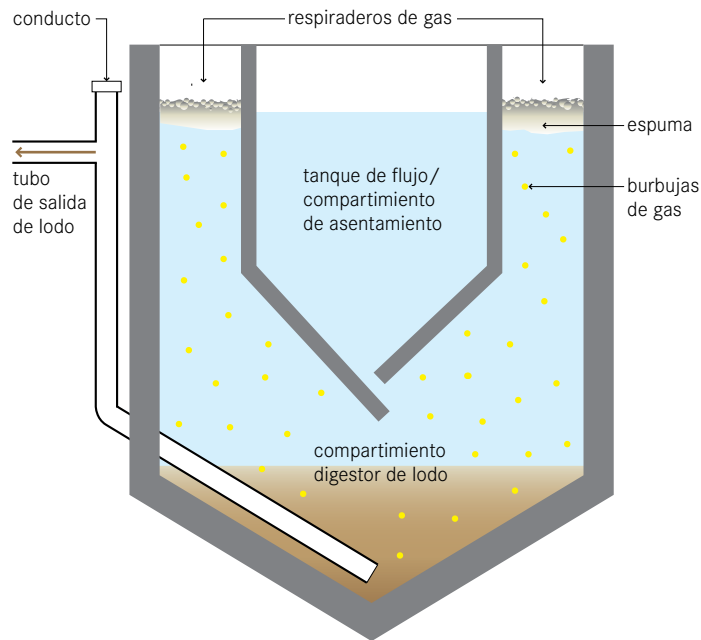
- + Tecnología sencilla y fuerte.
- + Remoción eficiente de sólidos suspendidos.
- + Costos de operación y capital relativamente bajos.
- Frecuente remoción de lodos.
- El efluente, el lodo y la espuma requieren tratamiento adicional.
- Un cortocircuito puede ser un problema.

### Referencias y lecturas adicionales

- EPA Ireland (1997), *Waste Water Treatment Manuals – Primary, Secondary and Tertiary Treatment*, Wexford, Irlanda. Disponible en [www.epa.ie](http://www.epa.ie).
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York.



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Aguas negras  Aguas cafés  Aguas grises
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Efluente  Lodo
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



**El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas, diseñada para separar el sólido del líquido, y para la digestión del lodo asentado. Consiste en un compartimento de sedimentación en forma de V sobre una cámara de digestión de lodo estrecha con respiraderos para gas.**

El tanque Imhoff es un sedimentador robusto y eficaz que reduce los sólidos suspendidos de 50 a 70% y la demanda química de oxígeno (DQO) de 25 a 50%, y conduce a una adecuada estabilización del lodo —dependiendo del diseño y las condiciones—. El compartimento de sedimentación tiene forma circular o rectangular, con paredes en forma de V y una ranura en el fondo que permite que los sólidos se asienten en el compartimento de digestión, evitando que el gas fétido suba y perturbe el proceso de sedimentación. El gas producido en la cámara de digestión sube hacia los respiraderos en el borde del reactor y transporta las partículas de lodo a la superficie del agua, creando una capa de espuma. El lodo se acumula en el compartimento de digestión de lodo, donde es compactado y parcialmente estabilizado mediante digestión anaerobia.

**Consideraciones de diseño** El tanque Imhoff generalmente se construye bajo tierra con concreto reforzado. Sin embargo, también puede construirse sobre la tierra para facilitar la eliminación de lodo por gravedad, aunque todavía requerirá bombeo del afluente. En el mercado también hay disponibles pequeños tanques Imhoff prefabricados. El tiempo de retención hidráulica suele ser de 2 a 4 horas para conservar un efluente aerobio para su tratamiento adicional o descarga. Se usan tubos en forma de T o separadores en la entrada y la salida para reducir la velocidad y evitar que la espuma abandone el sistema. La profundidad total del agua en el tanque, del fondo a la superficie, puede ser de 7 a 9.5 m. El fondo del compartimento de asentamiento suele tener una pendiente vertical/horizontal de 1.25:1 a 1.75:1. La abertura de la ranura puede ser de 150 a 300 mm de ancho. Las paredes del compartimento de digestión de lodo deben tener una inclinación de 45° o más. Esto permite que el lodo se deslice hasta el centro, donde se puede remover. El dimensionamiento del compartimento de digestión anaerobia depende principalmente de la producción de lodo por población equivalente, del grado deseado de estabilización de lodo (vinculado a la frecuencia de desenlodado) y de la tem-

peratura. En general, la cámara de digestión está diseñada para almacenar lodo de 4 a 12 meses para permitir suficiente digestión anaerobia. En climas más fríos es necesario un mayor tiempo de retención y volumen. Para el desenlodado se debe instalar una bomba y un tubo, o bien, se debe contar con acceso para camiones aspiradores y bombas móviles. Se recomienda tener una rejilla o un desarenador (véase PRE, p. 100) antes del tanque Imhoff para evitar que haya material grueso que perturbe el sistema.

**Idoneidad** El tanque Imhoff se recomienda para flujos de aguas residuales de viviendas o mixtas, con equivalentes poblacionales de 50 a 20 000 habitantes. Pueden tratar altas cargas orgánicas y resisten choques de carga orgánicos. No requieren mucho espacio.

El tanque Imhoff puede utilizarse en climas fríos y cálidos. Dado que es muy alto, se puede construir bajo tierra si la capa freática es baja y la ubicación no es propensa a inundaciones.

**Aspectos de salud/aceptación** Debido a que el efluente prácticamente no tiene olor, es una buena opción para tratamiento primario si se le dará un tratamiento posterior; por ejemplo, en lagunas abiertas, humedales artificiales o filtros percoladores. Sin embargo, los pocos gases que se producen pueden generar olores localmente. La eliminación de patógenos es baja y todos los efluentes deben ser tratados. Debe usarse ropa de protección adecuada si se entrará en contacto con el efluente, la espuma o el lodo.

**Operación y mantenimiento** La operación y el mantenimiento son de bajo costo si el personal a cargo está capacitado. Las rutas del flujo deben mantenerse abiertas y limpiarse cada semana, mientras que la espuma en el compartimiento de asentamiento y los respiraderos de gas deben limpiarse diariamente, si fuera necesario. El lodo estabilizado en el fondo del compartimiento de digestión debe eliminarse según el diseño. Siempre debe haber un espacio mínimo de 50 cm entre la manta de lodo y la ranura de la cámara de sedimentación.

### Pros y contras

- + La separación sólido-líquido y la estabilización de lodos se combinan en una sola unidad.
- + Resistente ante cargas de choque orgánicas.

- + Requiere un terreno pequeño.
- + El efluente no es séptico (poco mal olor).
- + Bajos costos de operación.
- Infraestructura muy alta (o profunda); la profundidad puede ser un problema si la capa freática es alta.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- Baja reducción de patógenos.
- El efluente, el lodo y la espuma requieren tratamiento adicional.

### Referencias y lecturas adicionales





- Alexandre, O., C. Boutin, P. Duchène, C. Lagrange, A. Lakel, A. Liénard y D. Orditz (1998), “Filières d’épuration adaptées aux petites collectivités”, documento técnico FNDAE núm. 22, Cemagref, Lyon, Francia. Disponible en [www.fndae.fr](http://www.fndae.fr).
- Herrera, A. (2006), “Rehabilitation of the Imhoff Tank Treatment Plant in Las Vegas, Santa Barbara Honduras, Central America”, tesis de maestría, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Texas, Austin. (Caso de estudio con información general sobre tanques Imhoff y aportes sobre problemas de implementación y operación. Recomendaciones de O&M).
- McLean, R. C. (2009), “Honduras Wastewater Treatment: Chemically Enhanced Primary Treatment and Sustainable Secondary Treatment Technologies for Use with Imhoff Tanks”, tesis de maestría, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. (Caso de estudio con descripción detallada de la funcionalidad del tanque Imhoff.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. (Manual sobre planificación e implementación de opciones de tratamiento descentralizadas para aguas residuales; incluye casos de estudio y hojas de Excel para cálculos de diseño.)
- WSP (ed.) (2008), *Philippines Sanitation Sourcebook and Decision Aid*, Water and Sanitation Program, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Información básica sobre tecnologías de saneamiento descentralizadas de bajo costo para tomadores de decisiones. Presenta datos de 23 opciones seleccionadas, incluido el tanque Imhoff.)

## Nivel de aplicación:

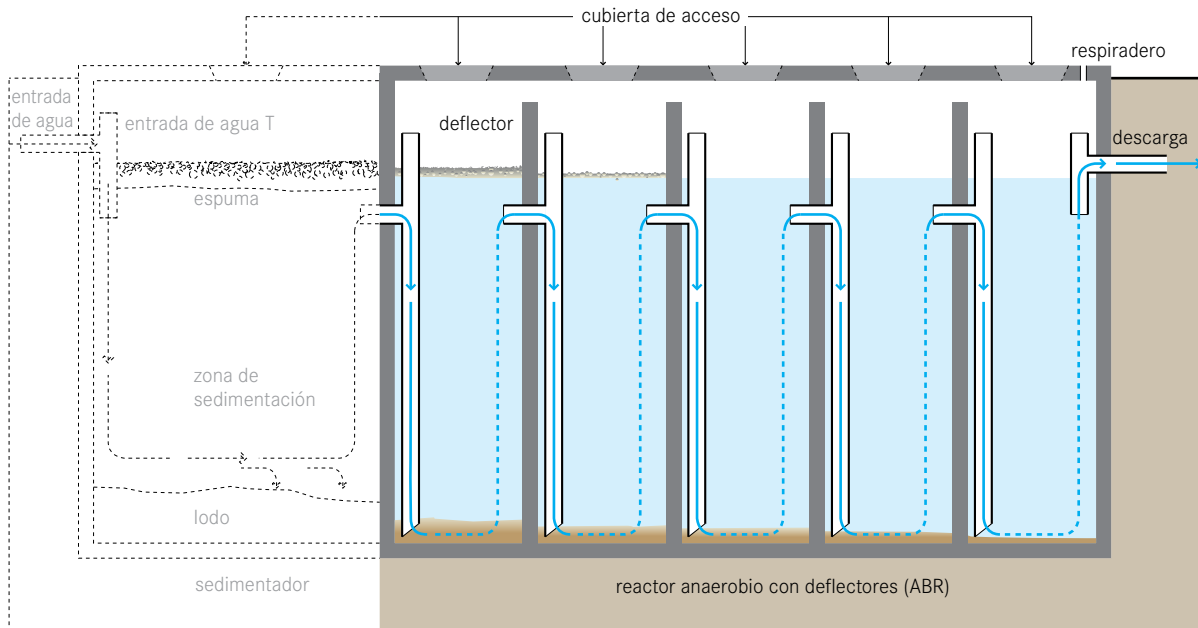
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

## Nivel de manejo:

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Efluente  Aguas negras  
 Aguas café  Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Un reactor anaerobio con deflectores (ABR) constituye una mejora a la fosa séptica o tanque séptico (S.9), ya que tiene una serie de cámaras o pistones en las cuales deben fluir las aguas residuales. Un mayor tiempo de contacto con la biomasa activa (lodo) se traduce en un mejor tratamiento.**

Las cámaras o pistones de flujo ascendente proporcionan mayor remoción y digestión de la materia orgánica. El DBO puede reducirse hasta 90%, que es muy superior a la eliminación en una fosa séptica convencional.

**Consideraciones de diseño** La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación enfrente de los ABR. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes tienen un compartimento integrado para el asentamiento, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, fosa séptica existente). Los diseños sin un compartimento de sedimentación (como se muestra en T.3) son de particular interés para las plantas con sistema de tratamiento semicentralizado, que combinan el ABR con otra tecnología para el asentamiento

principal, o donde se usan unidades prefabricadas y modulares.

Los flujos típicos son de 2 a 200 m<sup>3</sup> por día. Los parámetros críticos de diseño incluyen un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 48 a 72 horas; una velocidad de flujo ascendente de aguas residuales por debajo de 0.6 m/h, y de tres a seis cámaras de flujo ascendente. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores. La accesibilidad a todas las cámaras (a través de puertos de acceso) es necesaria para el mantenimiento. En general, el biogás producido en un ABR mediante digestión anaerobia no es recolectado ya que es muy poco. El tanque debe ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

**Idoneidad** Esta tecnología se adapta fácilmente y puede aplicarse en viviendas, en pequeños vecindarios o, incluso, en grandes cuencas. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. Un ABR (semi)centralizado es apropiado cuando existe una tecnología de conducción preexistente, como una alcantarilla simplificada (C.4). Esta tecnología es conveniente para áreas donde no hay

mucho terreno, ya que el tanque suele instalarse bajo tierra y requiere un área pequeña. Sin embargo, debe haber un acceso para que el camión aspirador pueda eliminar el lodo de manera regular (sobre todo desde el sedimentador).

Los ABR pueden instalarse en todo tipo de clima, aunque su eficacia es menor en climas más fríos. No son eficientes para la eliminación de nutrientes ni de patógenos. El efluente suele requerir tratamiento adicional.

**Aspectos de salud/aceptación** Bajo condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o efluente. El efluente, la espuma y el lodo deben manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos. El efluente contiene compuestos olorosos que pueden eliminarse en un posterior paso de tratamiento final. Se debe tener cuidado al diseñar y ubicar el tanque para que los olores no molesten a la comunidad.

**Operación y mantenimiento** Un ABR requiere un periodo de puesta en marcha de varios meses para llegar a la capacidad de tratamiento total, ya que la biomasa anaerobia de crecimiento lento primero debe establecerse en el reactor. Para reducir el tiempo inicial, el ABR puede ser inoculado con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la adición de estiércol fresco de vaca o lodo de una fosa séptica. Las bacterias activas agregadas pueden multiplicar y adaptarse a las aguas residuales entrantes. Debido a su delicada ecología, se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en el ABR.

Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garantizar que el tanque esté funcionando bien. En general, no se requiere operación y el mantenimiento se limita a remover el lodo y la espuma acumulados cada uno a tres años. Se recomienda usar tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.3). La frecuencia del desenlodado depende de los pasos de pretratamiento que se escojan, así como del diseño de los tanques de ABR.

Los tanques de ABR deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo resistentes al agua.

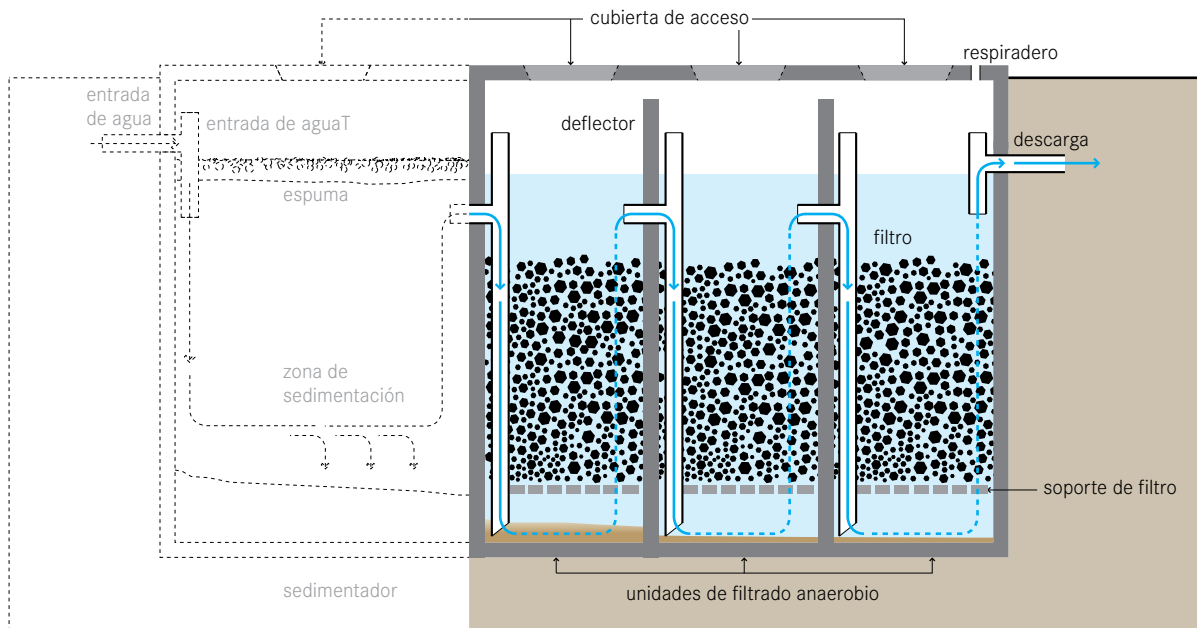
### Pros y contras

- + Resistente a cargas orgánicas y de choque hidráulico.
- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- + Larga vida útil.
- + Alta reducción de DBO.
- + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado.
- + Requiere un terreno de tamaño moderado (se puede construir bajo tierra).
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Baja reducción de patógenos y nutrientes.
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Bachmann, A., V. L. Beard y P. L. McCarty (1985), "Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor", *Water Research* 19 (1): 99-106.
- Barber, W. P., y D. C. Stuckey (1999), "The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review", *Water Research* 33 (7): 1559-1578.
- Foxon, K. M., C. A. Buckley, C. J. Brouckaert, P. Dama, Z. Mtembu, N. Rodda, M. Smith, S. Pillay, N. Arjun, T. Lalbahadur y F. Bux (2006), *Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-urban Settlements. WRC Report No 1248/01/06*, Water Research Commission, Pretoria, Sudáfrica. Disponible en [www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za).
- Foxon, K. M., S. Pillay, T. Lalbahadur, N. Rodda, F. Holder y C. A. Buckley (2004), "The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for On-Site Sanitation", *Water SA* 30 (5), edición especial. Disponible en [www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za).
- Stuckey, D. C. (2010), "Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment", en H. H. P. Fang (ed.), *Environmental Anaerobic Technology. Applications and New Developments*, Imperial College Press, Londres, Reino Unido.
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (Ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.

<b>Nivel de aplicación:</b> <input type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<b>Nivel de manejo:</b> <input type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Compartido <input checked="" type="checkbox"/> Público	<b>Entradas:</b> Efluente  Aguas negras Aguas café  Aguas grises
		<b>Salidas:</b> Efluente  Lodo



**Un filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. Conforme las aguas residuales atraviesan el filtro, las partículas son atrapadas y la materia orgánica es degradada por la biomasa activa adjunta a la superficie del material del filtro.**

Con esta tecnología, la eliminación de DBO y sólidos en suspensión puede ser de casi 90%, pero suele ser de 50 a 80%. La eliminación de nitrógeno es limitada y normalmente no supera 15% en términos de nitrógeno total (NT).

**Consideraciones de diseño** El pretratamiento y el tratamiento primario son esenciales para remover la basura y los sólidos que puedan obstruir el filtro. La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación enfrente del filtro anaerobio. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes poseen un compartimiento integrado para el asentamiento, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, fosa séptica existente). Los diseños sin un compartimiento de sedimentación (como se muestra en T.4) son de particular

interés para las plantas con sistema de tratamiento (semi)centralizado, que combinan el filtro anaerobio con otras tecnologías, como el reactor anaerobio con deflectores (ABR, T.3).

Los filtros anaerobios generalmente operan en modo de flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. Por esta razón se le denomina Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).<sup>1</sup> El nivel del agua debe cubrir el medio filtrante al menos en 0.3 m para garantizar un régimen de flujo uniforme. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el parámetro de diseño que más influye en el rendimiento del filtro. Se recomienda un TRH de 12 a 36 horas.

El filtro ideal debe tener una superficie amplia para que las bacterias crezcan, con poros lo suficientemente grandes para evitar atascos. La superficie garantiza un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa adjunta que la degrada. Idealmente, el material debe proporcionar entre 90 y 300 m<sup>2</sup> de superficie por cada metro cúbico de volumen de reactor ocupado. Los tamaños usuales de materiales del filtro van de 12 a 55 mm de diámetro. Los materiales comúnmente

<sup>1</sup> Nota de traducción.

usados incluyen gravas, rocas o ladrillos machacados, ceniza, piedra pómez, o piezas de plástico especiales, dependiendo de la disponibilidad local. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores. La accesibilidad a todas las cámaras (a través de puertos de acceso) es necesaria para el mantenimiento. El tanque debe ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

**Idoneidad** Esta tecnología se adapta fácilmente y puede aplicarse en viviendas, en pequeños vecindarios o, incluso, en grandes cuencas. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. El filtro anaerobio puede utilizarse para tratamiento secundario, con el fin de reducir el índice de carga orgánica para posteriores pasos en el tratamiento aerobio, o para tratamiento final. Esta tecnología es conveniente para áreas donde no hay mucho terreno, ya que el tanque suele instalarse bajo tierra y requiere un área pequeña. La accesibilidad para un camión aspirador es importante, ya que la tecnología requiere deslodado.

Los filtros anaerobios pueden instalarse en todo tipo de clima, aunque su eficacia es menor en climas más fríos. No son eficientes para la eliminación de nutrientes ni de patógenos. Sin embargo, dependiendo del material del filtro, puede lograrse la eliminación total de huevos de helminto. El efluente suele requerir tratamiento adicional.

**Aspectos de salud/aceptación** Bajo condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o efluente. El efluente, la espuma y el lodo deben manejarse con cuidado, ya que contienen altos niveles de organismos patógenos. El efluente contiene compuestos olorosos que pueden eliminarse en un posterior paso de tratamiento final. Se debe tener cuidado al diseñar y ubicar el tanque para que los olores no molesten a la comunidad.

**Operación y mantenimiento** Un filtro anaerobio requiere un periodo de puesta en marcha de seis a nueve meses para llegar a la capacidad de tratamiento total, ya que la biomasa anaerobia de crecimiento lento primero debe establecerse en el filtro. Para reducir el tiempo inicial, el filtro puede ser inoculado con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la aspersión de lodos de la fosa séptica en el material del filtro. El flujo aumentará con el tiempo. Debido a su delicada ecología,

se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en el filtro anaerobio.













Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garantizar que el tanque esté funcionando bien. Con el tiempo, los sólidos obstruirán los poros del filtro. De la misma forma, la creciente masa bacteriana se espesará demasiado, se quebrará y llegará a obstruir los poros. El filtro debe limpiarse cuando reduzca su eficiencia. Esto se logra poniendo el sistema en reversa (retrolavado) o al remover y limpiar el material del filtro. Los tanques de filtros anaerobios deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo resistentes al agua.

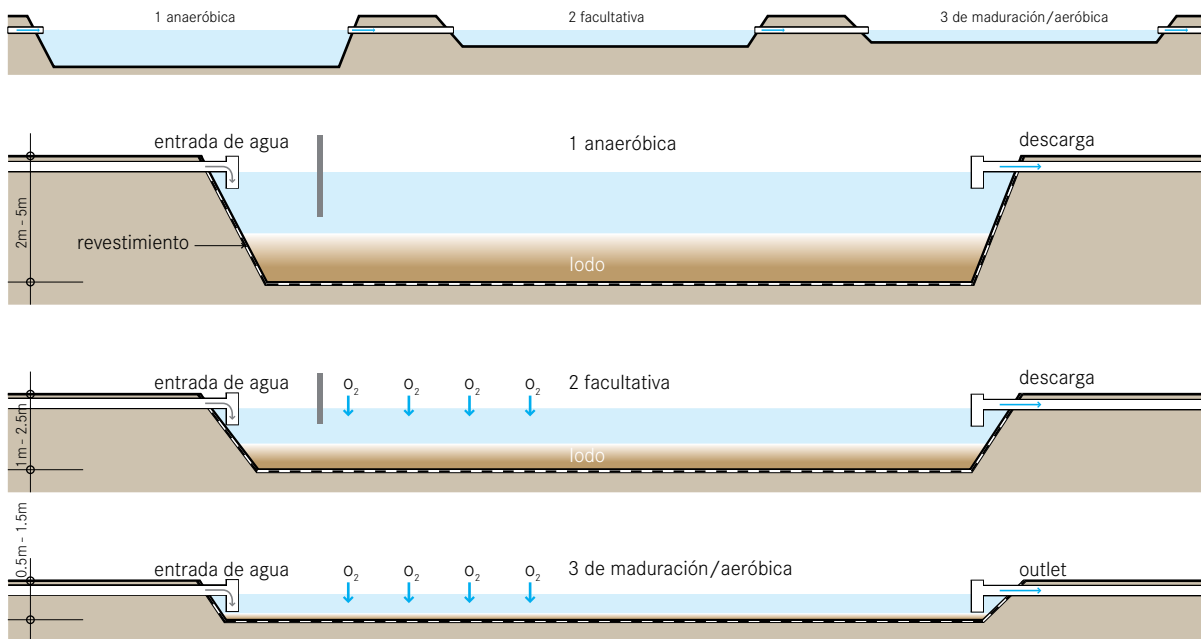
### Pros y contras

- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- + Larga vida útil.
- + Alta reducción de DBO y sólidos.
- + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado.
- + Necesita un terreno de tamaño moderado (se puede construir bajo tierra).
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Baja reducción de patógenos y nutrientes.
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.
- Alto riesgo de obstrucción, dependiendo del pretratamiento y tratamiento primario.
- Remover y limpiar el material del filtro obstruido es engorroso.

### Referencias y lecturas adicionales

- Morel, A., y S. Diener (2006), *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Resumen que incluye casos de estudio, p. 28.)
- Sperling, M. von, y C. A. de Lemos Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume One*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido, pp. 728-804. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org). (Instrucciones detalladas de diseño.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. (Resumen que incluye hojas de Excel para cálculos de diseño.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Aguas negras  Aguas cafés  Aguas grises  Lodo
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Efluente  Lodo
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



Las lagunas de estabilización (WSP por sus siglas en inglés) son cuerpos de agua grandes hechos por el ser humano. Las lagunas pueden utilizarse individualmente o vincularse en serie para mejorar el tratamiento. Hay tres tipos de lagunas: 1) anaerobias, 2) facultativas y 3) aerobias (maduración), cada una con características de diseño y tratamiento diferentes.

Para el tratamiento más eficaz, las lagunas deben vincularse, en una serie de tres o más, con el efluente que sale de la laguna anaerobia a la laguna facultativa y, por último, a la laguna aerobia. La laguna anaerobia es la primera etapa del tratamiento y reduce la carga orgánica en las aguas residuales. Este tipo de lagunas es bastante profunda y desde la superficie hasta el fondo tiene funcionamiento anaerobio. La remoción de sólidos y DBO se produce por sedimentación y a través de la subsecuente digestión anaerobia dentro del lodo. Las bacterias anaerobias convierten el carbono orgánico en metano y, a través de este proceso, remueven hasta 60% de la DBO. En una serie de lagunas, el efluente de la laguna anaerobia se transfiere a la laguna facultativa, donde se remueve más DBO. La capa superior de la laguna recibe oxígeno de la difusión natural, de la mezcla de vientos y

de fotosíntesis promovida por algas. La capa más baja se priva de oxígeno y se vuelve anóxica o anaerobia. Los sólidos sedimentables se acumulan y son digeridos en el fondo de la laguna. Los organismos anaerobios y aerobios trabajan juntos para lograr reducciones de DBO hasta de 75 por ciento.

Las lagunas anaerobias y facultativas están diseñadas para la remoción de la DBO, mientras que las lagunas aerobias están diseñadas para remover patógenos. Una laguna aerobia se conoce comúnmente como laguna de maduración o laguna de tratamiento, porque generalmente es la última de una serie de lagunas y proporciona el nivel final de tratamiento. Es la menos profunda de las lagunas, lo que garantiza que la luz del sol penetre hasta el fondo para que se dé la fotosíntesis. Las algas fotosintéticas liberan oxígeno en el agua y, al mismo tiempo, consumen el dióxido de carbono producido por la respiración de bacterias. Dado que la fotosíntesis es impulsada por la luz del sol, los niveles de oxígeno disueltos son mayores durante la caída y bajan durante la noche. El oxígeno disuelto también se produce por la mezcla natural del viento.

**Consideraciones de diseño** Una laguna aerobia se construye a una profundidad de 2 a 5 m y tiene un tiem-

po de retención relativamente corto, de 1 a 7 días. Las lagunas facultativas deben construirse a una profundidad de entre 1 y 2.5 m y tener un tiempo de retención de 5 a 30 días. Las lagunas aeróbicas suelen tener entre 0.5 y 1.5 m de profundidad. Si se usa en combinación con algas o acuicultura (véase D.9), este tipo de laguna es eficaz para remover la mayoría de nitrógeno y fósforo del efluente. Idealmente, se pueden construir varias lagunas aeróbicas en serie para proveer un alto nivel de eliminación de patógenos.

El pretratamiento (véase PRE, p. 100) es esencial para prevenir la formación de espuma e impedir que el exceso de sólidos y basura entre a las lagunas. Para evitar la lixiviación a los acuíferos, las lagunas deben tener revestimiento. El revestimiento puede ser de arcilla, asfalto, tierra compactada o cualquier otro material impermeable. Para proteger la laguna de la escorrentía y la erosión debe construirse una berma de protección alrededor de la laguna con el material excavado. Para garantizar que las personas y los animales se mantengan fuera del área y que la basura no caiga en las lagunas, se debe instalar una cerca o valla.

**Idoneidad** Las lagunas están entre los métodos más comunes y eficientes de tratamiento de aguas residuales en el mundo. Son especialmente apropiadas para comunidades periurbanas y rurales con terrenos grandes, sin uso, y a una distancia razonable de las viviendas y los espacios públicos. No son apropiadas para áreas muy densas o urbanas.

**Aspectos de salud/aceptación** Aunque el efluente de las lagunas aeróbicas generalmente es bajo en patógenos, de ninguna manera deben ser utilizadas para recreación o como fuente directa de agua para el consumo doméstico.

**Operación y mantenimiento** La espuma que se acumula en la superficie de la laguna debe ser removida periódicamente. Las plantas acuáticas (macrófitas) en la laguna también deben sacarse, ya que pueden proporcionar un hábitat de cría para mosquitos y evitar que la luz penetre en la columna de agua.

La laguna anaerobia debe ser desenlodada una vez cada 2 a 5 años, cuando los sólidos acumulados alcanzan un tercio del volumen de la laguna; en las lagunas facultativas la remoción de lodo es menos frecuente; las lagunas de maduración casi nunca necesitan desenlodarse. El lodo se puede quitar utilizando una bomba de lodo montado en balsa, un raspador mecánico en el

fondo de la laguna, o por drenaje y desecación de la laguna, y remoción del lodo con un cargador frontal.

### Pros y contras

- + Resistente a cargas de choques orgánicos e hidráulicos.
- + Alta reducción de sólidos, DBO y patógenos.
- + Alta remoción de nutrientes si se combina con acuicultura.
- + Bajos costos de operación.
- + No requiere energía eléctrica.
- + No hay problema con insectos ni malos olores si se diseña y mantiene correctamente.
- Requiere un terreno grande.
- Alto costo de inversión, dependiendo del precio del terreno.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lodo requiere adecuada remoción y tratamiento.

### Referencias y lecturas adicionales

- Kayombo, S., T. S. A. Mbwette, J. H. Y. Katima, N. Ladegaard y S. E. Jorgensen (2004), *Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual*. UNEP-IETC/Danida, Dar es Salaam, Tanzania, y Copenhague, Dinamarca. Disponible en [www.unep.org](http://www.unep.org).
- Peña Varón, M., y D. D. Mara (2004), *Waste Stabilisation Ponds. Thematic Overview Paper*, IRC International Water and Sanitation Centre, Delft, Países Bajos. Disponible en [www.ircwash.org](http://www.ircwash.org).
- Shilton, A. (ed.) (2005), *Pond Treatment Technology. Integrated Environmental Technology Series*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido.
- Sperling, M. von (2007), *Waste Stabilisation Ponds. Biological Wastewater Treatment Series, Volume Three*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org).
- Sperling, M. von, y C. A. de Lemos Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume One*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido, pp. 495-656. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org).
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. (Descripción detallada y hojas de Excel para cálculos de diseño.)







**Nivel de aplicación:**

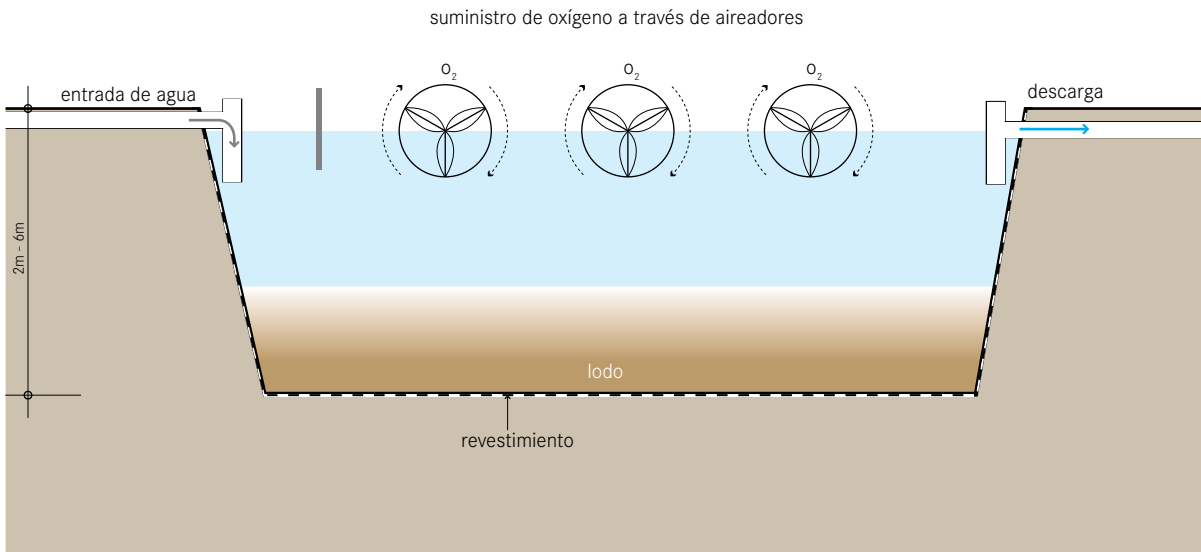
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Efluente  Aguas negras  
 Aguas cafés  Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Una laguna aireada es un reactor grande, mixto y aerobio. Los aireadores mecánicos proporcionan oxígeno y mantienen a los organismos aerobios suspendidos y mezclados con agua para lograr una alta tasa de degradación orgánica.**

Una mayor aireación y mezcla de las unidades mecánicas indica que las lagunas pueden ser más profundas y tolerar cargas orgánicas mucho mayores que una laguna de maduración. La mayor aireación permite mayor degradación y eliminación de patógenos. De la misma forma, dado que el oxígeno es introducido por las unidades mecánicas y no por fotosíntesis basada en la luz, las lagunas pueden funcionar en climas más fríos.

**Consideraciones de diseño** El afluente debe tener una rejilla y se debe pretratar para eliminar la basura y las partículas gruesas que puedan interferir con los aireadores. Dado que las unidades de aireación mezclan el agua de la laguna, es necesario contar con un posterior tanque de asentamiento para separar los sólidos del efluente.

La laguna debe construirse a una profundidad de 2 a 5 m, y tener un tiempo de retención de 3 a 20 días, dependiendo de la meta del tratamiento.

Para evitar la lixiviación, la laguna debe tener revestimiento. El revestimiento puede ser de arcilla, asfalto, tierra compactada o cualquier otro material impermeable. Para proteger la laguna de la escorrentía y la erosión debe construirse una berma de protección alrededor de la laguna con el material excavado.

**Idoneidad** Una laguna aireada mecánicamente puede manejar con eficiencia el afluente concentrado y reducir de manera significativa los niveles de patógenos. Es muy importante que el servicio de electricidad sea ininterrumpido y que los repuestos estén disponibles para evitar que la inactividad prologada pueda causar que la laguna se convierta en anaerobia.

Las lagunas de aireación pueden utilizarse en entornos periurbanos y rurales. Son más adecuados para regiones con grandes extensiones de tierra barata, situadas lejos de negocios y viviendas. Las lagunas aireadas pueden funcionar en más climas que las lagunas de estabilización (T.5) y requieren menos terreno que las lagunas de maduración.

**Aspectos de salud/aceptación** La laguna es una gran extensión de aguas residuales con patógenos; debe

tenerse cuidado para garantizar que nadie entre en contacto con el agua.

Las unidades de aireación pueden ser peligrosas para los animales y los seres humanos. Se recomienda poner cercas, señalización y otras medidas para impedir la entrada al área.

**Operación y mantenimiento** Se requiere personal calificado y permanente para mantener y reparar la maquinaria de aireación. La laguna debe ser desludada cada 2 a 5 años.

Debe tenerse cuidado para garantizar que la laguna no sea usada como vertedero de basura, sobre todo teniendo en cuenta el daño que podría ocasionar a los equipos de aireación.

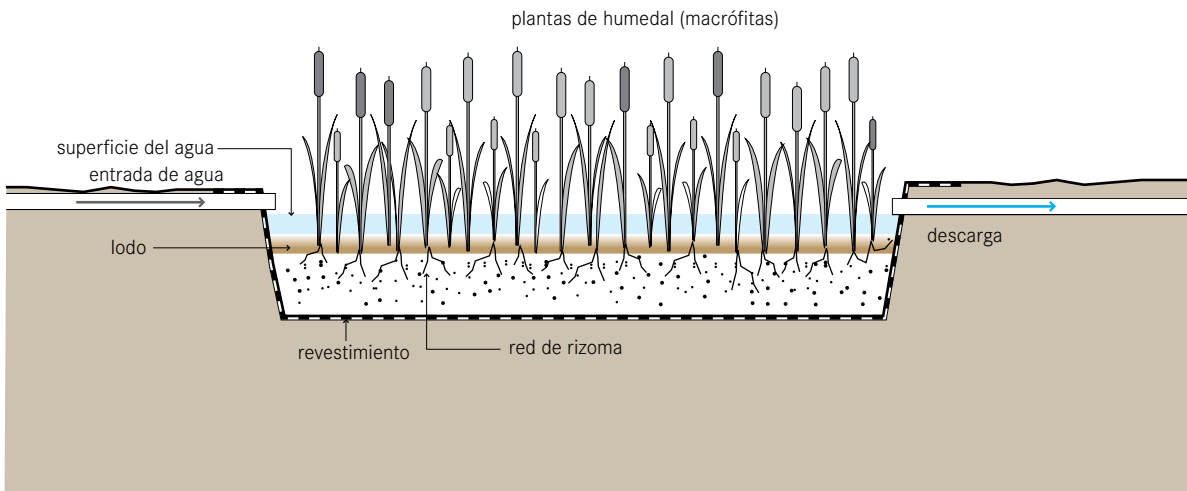
### Pros y contras

- + Resistente a cargas de choques orgánicos e hidráulicos.
- + Alta reducción de DBO y patógenos.
- + No hay problema con insectos ni malos olores si se diseña y mantiene correctamente.
- Requiere un terreno grande.
- Alto consumo de energía; necesita una fuente constante de electricidad.
- Alto costo de inversión y operación, dependiendo del precio del terreno y la electricidad.
- Requiere operación y mantenimiento por personal especializado.
- No todos los repuestos y los materiales están disponibles localmente.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lodo y el efluente requieren tratamiento adicional o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Arthur, J. P. (1983), “Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries. World Bank Technical Paper No. 7”, Banco Mundial, Washington, D. C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home). (Notas sobre aplicabilidad y efectividad.)
- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 527-558.  
(Capítulo de resumen muy completo.)
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York, pp. 840-854.  
(Diseño detallado y ejemplos de problemas.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Efluente  Aguas pluviales
Vivienda	Vivienda	<b>Salidas:</b> Efluente  Biomasa
Vecindario	Compartido	
Ciudad	Público	



**Un humedal artificial de flujo superficial (HFS) pretende reproducir los procesos naturales que ocurren en un humedal, pantano o ciénaga natural. Conforme el agua fluye lentamente a través del humedal, las partículas se asientan, los patógenos se destruyen y las plantas y los organismos utilizan los nutrientes. Este tipo de humedal artificial se usa comúnmente como tratamiento avanzado después de procesos de tratamientos secundarios o terciarios.**

A diferencia del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial (T.8), el humedal artificial de flujo superficial permite que el agua fluya por encima del suelo expuesto a la atmósfera y a la luz solar directa. Al fluir el agua lentamente a través del humedal, algunos procesos físicos, químicos y biológicos simultáneamente filtran sólidos, degradan orgánicos y remueven nutrientes de las aguas residuales.

Las aguas negras crudas deben ser tratadas previamente para evitar la acumulación excesiva de sólidos y basura. Una vez en la laguna, las partículas de sedimento más pesadas se asientan, lo cual también elimina los nutrientes ligados a ellas. Las plantas, y las comunidades de microorganismos que las sustentan (en los tallos

y las raíces), toman nutrientes como nitrógeno y fósforo. Las reacciones químicas pueden causar que otros elementos se precipiten a las aguas residuales. Los patógenos se eliminan del agua por descomposición natural, depredación de organismos superiores, irradiación de luz ultravioleta y sedimentación.

Si bien la capa de tierra debajo del agua es anaerobia, las raíces de las plantas exudan (liberan) oxígeno en el área alrededor de los pelos radiculares, creando un entorno para actividades químicas y biológicas complejas.

**Consideraciones de diseño** El canal o la cuenca está revestida con una barrera impermeable (arcilla o geotextil) cubierta con rocas, grava y tierra, y plantada con vegetación autóctona (por ejemplo, totora, cañas o juncos). El humedal está inundado con aguas residuales a una profundidad de 10 a 45 cm por encima del nivel del suelo. El humedal está compartimentado al menos en dos trayectorias de flujos independientes. El número de compartimentos en serie depende del objetivo del tratamiento. La eficiencia del humedal artificial de flujo superficial también depende de cómo se distribuye el agua en la entrada. Las aguas residuales pueden ser alimentadas al humedal, usando vertederos o perforan-

do hoyos en una tubería de distribución, para que entre en intervalos espaciados de forma homogénea.

**Idoneidad** El humedal artificial de flujo superficial puede alcanzar una alta remoción de sólidos suspendidos y una moderada eliminación de patógenos, nutrientes y otros contaminantes, como metales pesados. Esta tecnología puede tolerar niveles variables de agua y de carga de nutrientes. Las plantas limitan el oxígeno disuelto en el agua de su sombra y su capacidad de amortiguación del viento; por lo tanto, este tipo de humedal sólo es apropiado para aguas residuales de baja resistencia. Esto también lo hace apropiado si sigue algún tipo de tratamiento primario para reducir la DBO. Debido al potencial de patógenos para el ser humano, esta tecnología se utiliza raramente como tratamiento secundario. Por lo general se usa como tratamiento final del efluente que ya ha pasado por un tratamiento secundario, o por algún tipo de retención y tratamiento de aguas pluviales.

El humedal artificial de flujo superficial es una buena opción donde la tierra es barata y está disponible. Dependiendo del volumen del agua y el correspondiente requisito de área para el humedal, podría usarse en pequeñas secciones de zonas urbanas, así como en comunidades rurales y periurbanas.

Esta tecnología es ideal para climas cálidos, pero puede diseñarse para tolerar algunos periodos de congelación y de la baja actividad biológica.

**Aspectos de salud/aceptación** La superficie abierta puede actuar como un posible caldo de cultivo para mosquitos. Sin embargo, esto puede prevenirse mediante un buen diseño y mantenimiento. Este tipo de humedal suele ser estéticamente agradable, sobre todo cuando está integrado en las áreas naturales existentes. Debe prevenirse que las personas entren en contacto con el efluente debido a la posible transmisión de enfermedades y al riesgo de ahogarse en aguas profundas.

**Operación y mantenimiento** El mantenimiento constante garantiza que el agua no haga cortocircuito o se devuelva por ramas caídas, basura o diques hechos por castores, bloqueando la salida del humedal. Es posible que se deba podar o cortar la vegetación de vez en cuando.

#### Pros y contras

+ Estéticamente agradable y proporciona hábitat a los animales.

- + Alta reducción de DBO y sólidos; eliminación moderada de patógenos.
- + Puede ser construido y reparado con materiales localmente disponibles.
- + No requiere energía eléctrica.
- + Ningún problema real con olores si se diseña y mantiene correctamente.
- + Bajos costos de operación.
- Puede facilitar la reproducción de mosquitos.
- Requiere un terreno grande.
- Periodo inicial largo antes de poder trabajar a capacidad plena.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 582-599. (Capítulo de resumen que incluye problemas solucionados.)
- Kadlec, R. H., R. L. Knight, J. Vymazal, H. Brix, P. Cooper y R. Haberl (2000), *Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report No. 8*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org).
- Kadlec, R. H., y S. D. Wallace (2009), *Treatment Wetlands*, 2ª ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Merz, S. L. (2000), *Guidelines for Using Free Water Surface Constructed Wetlands to Treat Municipal Sewage*, Queensland Department of Natural Resources, Brisbane, Australia.
- Poh-Eng, L., y C. Polprasert (1998), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, Tailandia.
- Polprasert, C., S. Veenstra y P. van der Steen (2001). *Wastewater Treatment II. Natural Systems for Wastewater Management, Chapter 6*, UNESCO-IHE, Delft, Países Bajos.
- U. S. EPA (2000), *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- Vymazal, J. (2008), "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review", en M. Sengupta y R. Dalwani (eds.), *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference*, pp. 965-980. Disponible en [www.moef.nic.in](http://www.moef.nic.in).

**Nivel de aplicación:**

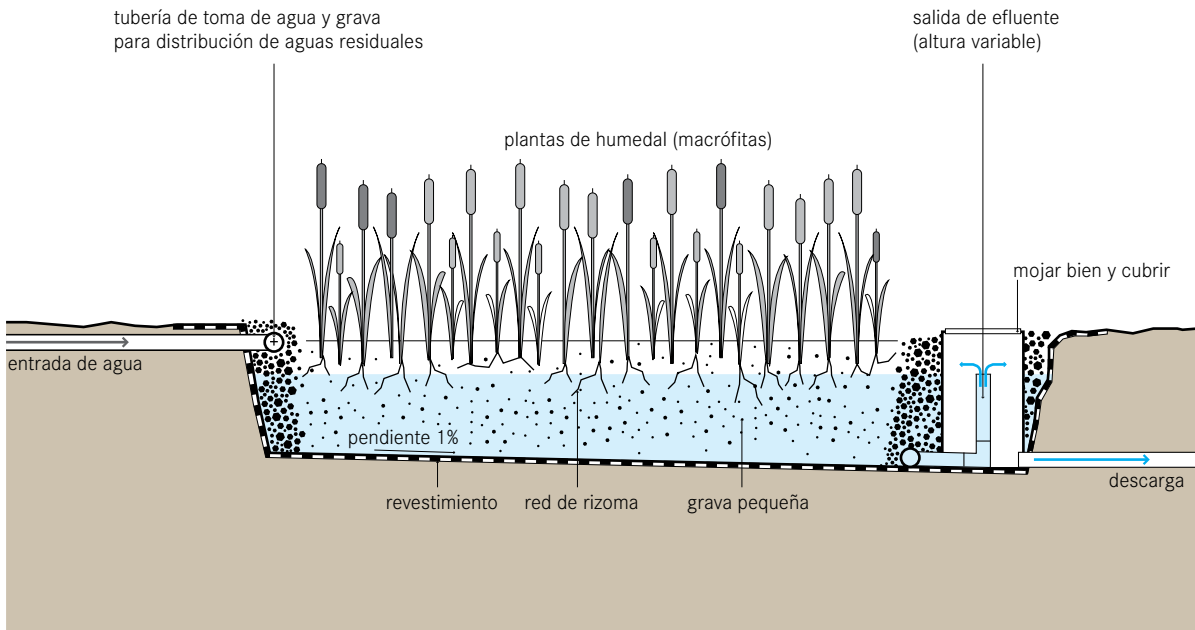
- ★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:** ■ Efluente ■ Aguas negras  
■ Aguas cafés ■ Aguas grises

**Salidas:** ■ Efluente ■ Biomasa



**Un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial es una cuenca grande llena de grava y arena que es plantado con vegetación de humedal. Conforme las aguas residuales fluyen horizontalmente a través de la cuenca, el material de filtrado filtra las partículas y los microorganismos degradan los orgánicos.**

El medio filtrante actúa como un filtro para remover sólidos, una superficie fija a la cual se pueden fijar las bacterias y servir para la vegetación. Aunque las bacterias anaerobias y facultativas degradan más orgánicos, la vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno al área de raíz para que las bacterias aeróbicas puedan colonizar el área y degradar los orgánicos. Las raíces de la planta juegan un papel importante en mantener la permeabilidad del filtro.

**Consideraciones de diseño** El diseño de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial depende del objetivo de tratamiento y de la calidad y la cantidad del afluente. Incluye decisiones sobre la cantidad de trayectorias de flujo paralelo y compartimentación. La eficiencia de remoción del humedal es una función del

área de superficie (largo por ancho), mientras que el área transversal (ancho por profundidad) determina el flujo máximo posible. Generalmente se requiere una superficie de 5 a 10 m<sup>2</sup> por persona.

El pretratamiento y el tratamiento primario es esencial para prevenir obstrucciones y garantizar un tratamiento eficiente. El afluente puede ser aireado por un torrente de entrada para respaldar los procesos que dependen del oxígeno, como la nitrificación y la reducción de DBO.

El lecho debe estar forrado con un revestimiento impermeable (arcilla o geotextil) para prevenir la lixiviación. Debe ser ancho y poco profundo para maximizar la trayectoria del flujo del agua en contacto con las raíces de la vegetación. Debe usarse una zona amplia para la entrada, con el fin de distribuir el flujo de manera uniforme. Una entrada bien diseñada que permita una distribución uniforme evitará cortocircuitos. La salida debe ser variable para que la superficie del agua pueda ajustarse y así optimizar el rendimiento del tratamiento.

Comúnmente, se usa grava pequeña, redonda y de tamaño uniforme (de 3 a 32 mm de diámetro) para llenar el lecho hasta una profundidad de 0.5 a 1 m. Para limitar las obstrucciones, la grava debe estar limpia y libre de finos. También se puede usar arena, pero es más pro-

pensa a obstrucciones que la grava. En años recientes otros materiales de filtro alternativos, como PET, también se han usado con éxito. Asimismo, el nivel del agua en el humedal se mantiene de 5 a 15 cm por debajo de la superficie para garantizar el flujo subsuperficial.

Cualquier planta nativa con raíces profundas y anchas que pueda crecer en un entorno húmedo y rico en nutrientes es adecuada para este tipo de humedal. La *Phragmites australis* (carrizo) es una opción común porque forma rizomas horizontales que penetran toda la profundidad del filtro.

**Idoneidad** Las obstrucciones son un problema común y, por lo tanto, el afluente debe estar bien asentado con tratamiento primario antes de desembocar en el humedal. Esta tecnología no es apropiada para aguas domésticas sin tratar (aguas negras). Es un buen tratamiento en comunidades que tienen tratamiento primario (por ejemplo, fosa séptica, S.9), pero que buscan conseguir un efluente de calidad superior.

El humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial es una buena opción donde la tierra es barata y está disponible. Dependiendo del volumen de agua y del requisito de área de humedal que corresponda, puede ser apropiado para pequeñas secciones en áreas urbanas, así como en comunidades rurales y periurbanas. También se puede diseñar para viviendas aisladas.

Esta tecnología es ideal para climas cálidos, pero puede diseñarse para tolerar algunos periodos de congelación y baja actividad biológica. Si se pretende reutilizar el efluente, las pérdidas debido a altas tasas de evapotranspiración pueden ser un inconveniente de esta tecnología, dependiendo del clima.

**Aspectos de salud/aceptación** Este tipo de humedal logra una significativa eliminación de patógenos por deterioro natural, depredación de organismos superiores y filtración. Dado que el agua fluye por debajo de la superficie, se minimiza cualquier contacto de organismos patógenos con la vida silvestre y humana. También se reduce el riesgo de criaderos de mosquito, ya que no hay agua estancada, como sucede en el humedal artificial de flujo superficial (T.7). El humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial es estéticamente agradable y puede integrarse a áreas silvestres o parques.

**Operación y mantenimiento** Durante la primera temporada de crecimiento es importante eliminar las malas hierbas que puedan competir con la vegetación de humedal plantada. Con el tiempo, la grava se obstrui-

rá con sólidos acumulados y biopelícula bacteriana. El material de filtro en la zona de entrada requiere ser reemplazado al menos cada 10 años. Las actividades de mantenimiento deben centrarse en garantizar que el tratamiento primario sea eficaz para reducir la concentración de sólidos en las aguas residuales antes de que entren al humedal. El mantenimiento además debe garantizar que no crezcan árboles en el área, ya que las raíces pueden dañar el revestimiento.

### Pros y contras

- + Alta reducción de DBO, sólidos suspendidos y patógenos.
- + No tiene los problemas de mosquitos que existen en el humedal artificial de flujo superficial.
- + No requiere energía eléctrica.
- + Bajos costos de operación.
- Requiere un terreno grande.
- Poca remoción de nutrientes.
- Riesgo de obstrucciones, dependiendo del pretratamiento y el tratamiento primario.
- Periodo inicial largo antes de trabajar a capacidad plena.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.

### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 599-609.  
(Capítulo de resumen que incluye problemas solucionados.)
- Hoffmann, H., C. Platzer, M. Winker y E. von Münch (2011), *Technology Review of Constructed Wetlands. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Greywater and Domestic Wastewater Treatment*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Kadlec, R. H., y S. D. Wallace (2009), *Treatment Wetlands*, 2ª ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Un-Habitat (2008), *Constructed Wetlands Manual*, Un-Habitat Water for Asian Cities Programme, Kathmandu, Nepal.  
Disponible en [www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org).
- U. S. EPA (2000), *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.  
Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

**Nivel de aplicación:**

- ★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

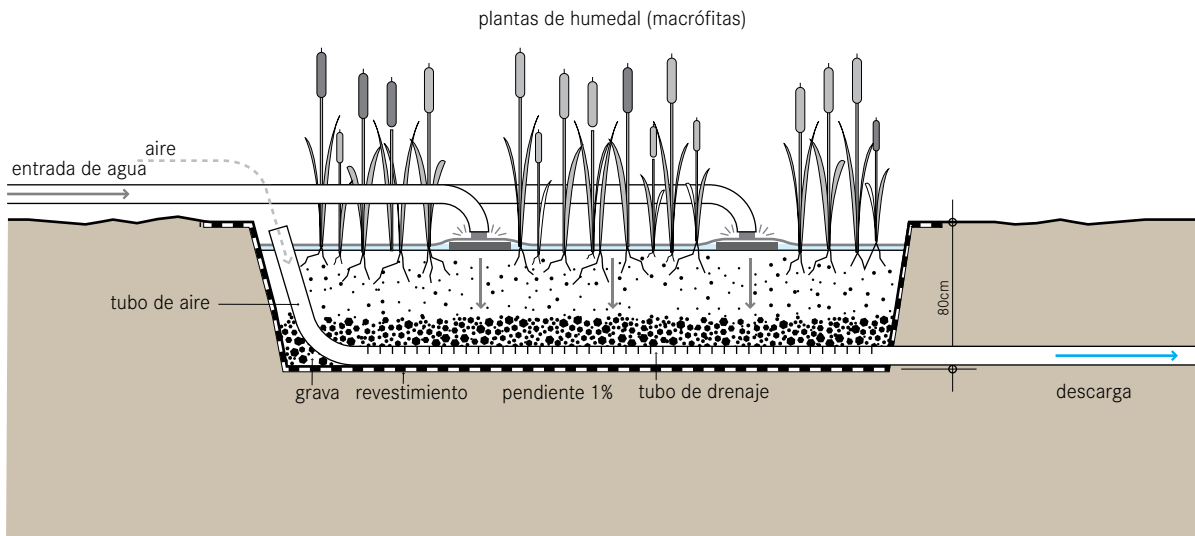
- ★ Vivienda
- ★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:**

- Efluente
- Aguas negras
- Aguas cafés
- Aguas grises

**Salidas:**

- Efluente
- Biomasa



**Un humedal artificial de flujo vertical es un lecho filtrante con plantas que drena en el fondo. Las aguas residuales son vertidas o dosificadas desde un punto más alto en la superficie, utilizando un sistema mecánico de dosificación. El agua fluye verticalmente a través de la matriz de filtrado hacia el fondo de la cuenca, donde es recolectada por un tubo de drenaje. La principal diferencia entre un humedal de flujo vertical y uno de flujo horizontal no es sólo la dirección de la trayectoria del flujo sino las condiciones aerobias.**

Al dosificar de forma intermitente el humedal (4 a 10 veces al día), el filtro pasa por las etapas de saturado y no saturado y, por consiguiente, por diferentes fases de condiciones anaerobias y aerobias. Durante la fase de arrastre, las aguas residuales percolan hacia abajo a través del lecho no saturado. Conforme el lecho drena, el aire es atraído al interior y el oxígeno tiene tiempo para disiparse por los medios porosos.

El medio filtrante remueve los sólidos, una superficie fija a la cual se pueden fijar las bacterias y servir como base para la vegetación. La capa de más arriba se planta y la vegetación puede desarrollar raíces anchas y pro-

fundas que permean el medio filtrante. La vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno al área de raíz para que las bacterias aeróbicas puedan colonizar el área y degradar los orgánicos. Sin embargo, el principal papel de la vegetación es mantener la permeabilidad del filtro y proporcionar un hábitat para los microorganismos. Los nutrientes y los materiales orgánicos son absorbidos y degradados por las densas poblaciones microbianas. Al forzar a los organismos a pasar por una fase de inanición entre las fases de dosificación, se puede disminuir el crecimiento excesivo de la biomasa y aumentar la porosidad.

**Consideraciones de diseño** El humedal artificial de flujo vertical se puede diseñar como una excavación poco profunda o una construcción sobre el suelo. Las obstrucciones son un problema común; por lo tanto, el afluente debe estar bien asentado con tratamiento primario antes de desembocar en el humedal. El diseño y el tamaño del humedal depende de las cargas hidráulicas y orgánicas. Generalmente, se requiere una superficie de 1 a 3 m<sup>2</sup> por persona. Cada filtro debe tener un revestimiento impermeable y un sistema de recolección del efluente. Un tubo de ventilación conectado al siste-

ma de drenaje puede ayudar con las condiciones aerobias en el filtro. La estructura incluye una capa de grava para el drenaje (al menos de 20 cm), seguida por capas de arena y grava.

Dependiendo del clima, algunas opciones comunes de plantas son *Phragmites australis* (carrizo), *Typha SP* (tortora) o *Echinochloa pyramidalis*. Es posible que sea necesario hacer pruebas para determinar la idoneidad de las plantas disponibles localmente con las específicas aguas residuales.

Debido a la adecuada transferencia de oxígeno, los humedales de flujo vertical pueden generar nitrificación, pero la desnitrificación es limitada. Con el fin de crear una secuencia de tratamiento de nitrificación-desnitrificación esta tecnología puede combinarse con un humedal artificial de flujo superficial (T.7) o un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial (T.8).

**Idoneidad** El humedal artificial de flujo vertical es un buen tratamiento para comunidades que tienen tratamiento primario (por ejemplo, fosa séptica, S.9) y que buscan conseguir un efluente de calidad superior. Debido al sistema mecánico de dosificación, esta tecnología es más apropiada cuando se cuenta con personal de mantenimiento capacitado, un suministro de energía constante y repuestos. Dado que el humedal artificial de flujo vertical puede generar nitrificación, es una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de amonio. Los humedales artificiales de flujo vertical se adaptan mejor a climas cálidos, pero pueden diseñarse para tolerar algunos periodos de congelación y baja actividad biológica.

**Aspectos de salud/aceptación** Este tipo de humedal logra eliminar patógenos por deterioro natural, depredación de organismos superiores y filtración. Reduce el riesgo de criaderos de mosquito, ya que no hay agua estancada. Es estéticamente agradable y puede integrarse a áreas silvestres o parques. Debe evitarse que las personas entren en contacto con el afluente debido al riesgo de infecciones.

**Operación y mantenimiento** Durante la primera temporada de crecimiento es importante eliminar las malas hierbas que puedan competir con la vegetación de humedal plantada. Los tubos de distribución deben limpiarse una vez al año para quitar el lodo y la biopelícula que pueda bloquear los orificios. Con el tiempo, la grava se obstruirá con sólidos acumulados y biopelícula bacteriana. Los intervalos de reposo podrían restablecer la conductividad hidráulica del lecho. Si esto no funciona,

el material acumulado debe ser removido y las piezas obstruidas del material de filtración deben reemplazarse. Las actividades de mantenimiento deben centrarse en garantizar que el tratamiento primario sea eficaz para reducir la concentración de sólidos en las aguas residuales antes de que entren al humedal. El mantenimiento además debe garantizar que no crezcan árboles en el área, ya que las raíces pueden dañar el revestimiento.

### Pros y contras

- + Alta reducción de DBO, sólidos suspendidos y patógenos.
- + Capacidad de nitrificación debido a la transferencia de oxígeno adecuado.
- + No tiene los problemas de mosquitos que existen en el humedal artificial de flujo superficial.
- + Menos obstrucciones que el humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.
- + Requiere menos espacio que el humedal artificial de flujo superficial libre.
- + Bajos costos de operación.
- Requiere experiencia en diseño y construcción, sobre todo para el sistema de dosificación.
- Requiere un mantenimiento más frecuente que un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.
- Puede necesitar una fuente constante de energía eléctrica.
- Periodo inicial largo antes de trabajar a capacidad plena.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.

### Referencias y lecturas adicionales

- Brix, H., y C. A. Arias (2005), "The Use of Vertical Flow Constructed Wetlands for On-Site Treatment of Domestic Wastewater: New Danish Guidelines", *Ecological Engineering* 25 (5): 491-500.
- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 599-609. (Capítulo de resumen que incluye problemas solucionados.)
- Kadlec, R. H., y S. D. Wallace (2009), *Treatment Wetlands*, 2a ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Un-Habitat (2008), *Constructed Wetlands Manual*, Un-Habitat Water for Asian Cities Programme, Kathmandu, Nepal. Disponible en [www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org).
- U. S. EPA (2000), *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).



**Nivel de aplicación:**

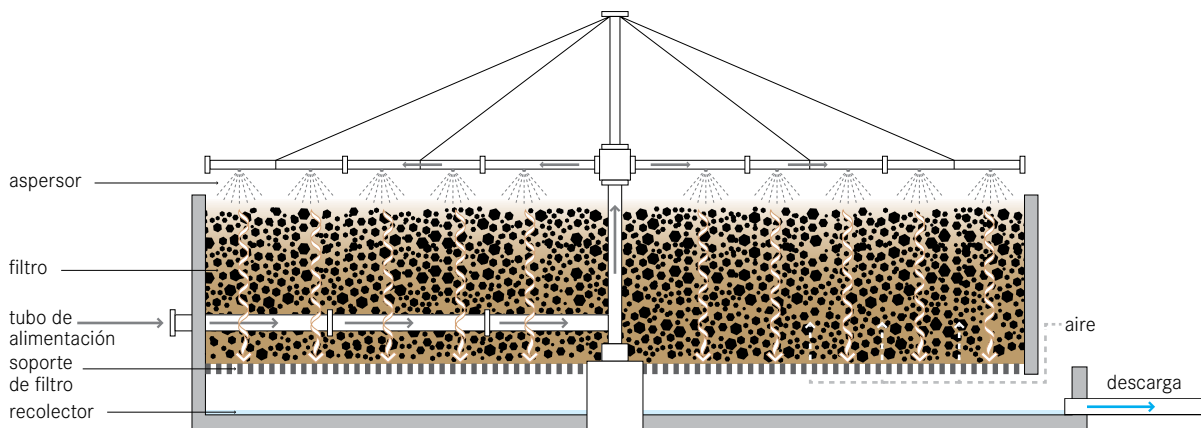
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Efluente  Aguas negras  
 Aguas cafés  Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Un filtro percolador es un reactor biológico de lecho fijo que funciona en condiciones aerobias (principalmente). Las aguas residuales previamente asentadas se “percolan” o atomizan sobre el filtro. Al migrar el agua por los poros del filtro, los orgánicos son degradados por la biopelícula que cubre el material del filtro.**

El filtro percolador se llena con un material para la superficie específica elevada, como roca, grava, botellas de PVC trituradas, o medios filtrantes especiales de plástico preformado. Una superficie específica elevada proporciona una gran área para la formación de biopelícula. Los organismos que crecen en la delgada biopelícula sobre la superficie de los medios oxidan la carga orgánica en las aguas residuales para generar dióxido de carbono y agua, mientras generan nueva biomasa.

El pretratamiento de las aguas residuales entrantes es “percolado” sobre el filtro (por ejemplo, usando un aspersor giratorio). De esta manera, el medio filtrante pasa por ciclos de dosificación y exposición al aire. Sin embargo, el oxígeno se agota dentro de la biomasa y sus capas internas pueden ser anóxicas o anaerobias.

**Consideraciones de diseño** El filtro suele tener de 1 a 2.5 m de profundidad, pero los filtros con relleno plástico más ligero pueden tener hasta 12 m de fondo. El material filtrante ideal es aquel que sea durable, de bajo costo, que tenga una relación alta entre superficie y volumen, y que permita que el aire circule. Cuando esté disponible, la roca triturada o la grava son las opciones más económicas. Las partículas deben ser uniformes y 95% de ellas debe tener un diámetro de 7 a 10 cm. Un material con una superficie específica de 45 a 60 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> para rocas y de 90 a 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> para el empaque de plástico es el más usado. Los poros más grandes (como en el empaque de plástico) son menos propensos a obstruirse y proveen buena circulación de aire. El tratamiento primario también es esencial para evitar obstrucciones y para garantizar un tratamiento eficiente.

Un flujo de aire adecuado es importante para garantizar un tratamiento óptimo y evitar olores. Los drenajes deben proporcionar un paso de aire a la velocidad de llenado máxima. Una losa perforada soporta el fondo del filtro, permitiendo que el efluente y el exceso de lodo sean recolectados. El filtro percolador generalmente se diseña con un patrón de recirculación para que el

efluente mejore la humidificación y el arrastre del material filtrante.

Con el tiempo, la biomasa se engrosará y la capa adjunta se verá privada de oxígeno; entrará en un estado endógeno, perderá su capacidad para mantenerse unida y se desprenderá. Las condiciones de carga de gran proporción también causan desprendimiento. El efluente recolectado debe pasar por el sedimentador en un tanque de asentamiento para remover cualquier biomasa que pueda haberse desprendido del filtro. La proporción de carga hidráulica y de nutrientes (esto es, cuántas aguas residuales pueden aplicarse al filtro) se determina con base en las características de las aguas residuales, el tipo de filtro, la temperatura ambiental y los requisitos de descarga.

**Idoneidad** Esta tecnología sólo puede emplearse después de una clarificación primaria, ya que la alta carga de sólidos obstruirá el filtro. Se puede diseñar un sistema de percolado de baja energía (por gravedad) pero, en general, se requiere un suministro continuo de energía y aguas residuales.

En comparación con otras tecnologías (por ejemplo, lagunas de estabilización, T.5), los filtros percoladores son compactos, aunque siguen siendo más adecuados para asentamientos rurales grandes o periurbanos.

Los filtros percoladores pueden ser construidos en casi todos los ambientes, pero requieren adaptaciones especiales para climas fríos.

**Aspectos de salud/aceptación** Los problemas con malos olores y moscas requieren que el filtro se construya lejos de negocios y viviendas. Deben tomarse medidas apropiadas de pretratamiento y tratamiento primario, de descarga del efluente y de tratamiento de sólidos, debido a que puede haber riesgos para la salud.

**Operación y mantenimiento** Se necesita un operador experto para monitorear el filtro y reparar la bomba en caso de problemas. El lodo acumulado en el filtro debe lavarse a menudo para evitar obstrucciones y mantener la biopelícula delgada y aerobia. Las altas proporciones de carga hidráulica (dosis de arrastre) pueden utilizarse para limpiar el filtro. Las proporciones óptimas de dosificación y la frecuencia de descarga deben determinarse en la operación de campo.

El empaque debe mantenerse húmedo. Esto puede ser problemático durante la noche si el flujo de agua se reduce o cuando hay apagones.

Los caracoles en la biopelícula y las moscas en el filtro causan frecuentes problemas en los filtros percoladores, y deben manejarse mediante retrolavado e inundaciones periódicas.

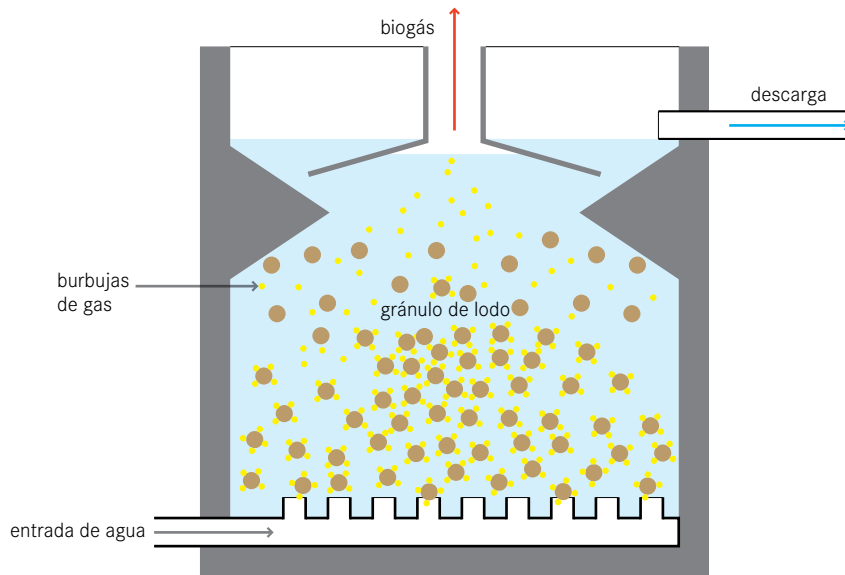
### Pros y contras

- + Puede funcionar con una gama de proporciones de carga hidráulica y orgánica.
- + Provee una nitrificación eficiente (oxidación de amonio).
- + Requiere un terreno pequeño en comparación con los humedales artificiales.
- Alto costo de inversión.
- Requiere experiencia en diseño y construcción, sobre todo para el sistema de dosificación.
- Necesita personal calificado para su operación y mantenimiento.
- Requiere una fuente constante de electricidad y aguas residuales.
- Las moscas y los malos olores suelen ser un problema.
- Presenta riesgo de obstrucciones, dependiendo del pretratamiento y el tratamiento primario.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.

### Referencias y lecturas adicionales

- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York, pp. 890-930.  
(Descripción detallada y ejemplos de cálculos.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.
- U. S. EPA (2000), *Wastewater Technology Fact Sheet. Trickling Filters. 832-F-00-014*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.  
Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).  
(Resumen de diseño con sugerencias para resolver problemas.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Aguas negras  Aguas cafés (+  Aguas grises)
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b> Efluente  Lodo  Biogás
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés) es un proceso de un solo tanque. Las aguas residuales entran al reactor desde el fondo y fluyen hacia arriba. Un manto de lodo suspendido filtra y trata las aguas residuales conforme pasan a través del manto.**

El manto de lodo está compuesto por gránulos microbianos (de 1 a 3 mm de diámetro); es decir, pequeñas aglomeraciones de microorganismos que, debido a su peso, resisten ser arrastrados por el flujo ascendente. Los microorganismos en la capa de lodo degradan los compuestos orgánicos. Como resultado, se liberan gases (metano y dióxido de carbono). Las burbujas que suben mezclan el lodo sin ayuda de ninguna pieza mecánica. Las paredes inclinadas desvían el material que llega a la parte superior de nuevo hacia el tanque del fondo. El efluente clarificado se extrae de la parte superior del tanque en un área por encima de las paredes inclinadas. Después de varias semanas de uso, se forman grandes gránulos de lodo que, a su vez, actúan como filtros para partículas más pequeñas conforme el efluente sube a través de la almohadilla de lodo. Debido al régimen de flujo ascendente, los organismos que forman los grá-

nulos se acumulan mientras los otros son arrastrados.

**Consideraciones de diseño** Los elementos indispensables para el diseño de los RAFA son el sistema de distribución del afluente, el separador de gases-sólidos y el diseño de extracción del efluente. El gas que sube es recolectado en un domo de recolección de gas y puede ser usado como energía (biogás). Debe mantenerse una velocidad de flujo ascendente de 0.7 a 1 m/h para conservar en suspensión el manto de lodo. Usualmente no se requiere asentamiento primario antes del RAFA.

**Idoneidad** Un RAFA no es apropiado para comunidades pequeñas o rurales sin un suministro constante de electricidad y agua. La tecnología es relativamente sencilla de diseñar y construir, pero generar el lodo granulado puede tomar varios meses. El reactor RAFA puede producir un mejor efluente que las fosas sépticas (S.9), y puede hacerlo en un menor volumen de reactor. Aunque es un proceso conocido para tratamientos de aguas residuales industriales a gran escala y a altas tasas de carga orgánica hasta de 10 kg DBO/m<sup>3</sup>/d, su aplicación a aguas residuales domésticas es relativamente nueva.

Suele utilizarse en cervecería, destilería, procesamiento de alimentos, y en desperdicios de pulpa y papel, ya que el proceso remueve de 80 a 90% de la DQO. Cuando el afluente es de baja resistencia o donde contiene demasiados sólidos, proteínas o grasas, el reactor podría no funcionar correctamente. La temperatura es otro factor que afecta su rendimiento.

**Aspectos de salud/aceptación** Los operadores deben tomar las medidas de seguridad y de salud apropiadas al trabajar en una planta, tales como ropa de protección adecuada. El efluente y el lodo constituyen un riesgo para la salud y debe no manejarse directamente.

**Operación y mantenimiento** El RAFA es una tecnología con sistema de tratamiento centralizado, que requiere profesionales para su operación y mantenimiento. Es necesario contar con un operador experto para monitorear y reparar el reactor; por ejemplo, si hubiera problemas con las bombas y fuera necesario poner los repuestos. El desenlodado es poco frecuente y el exceso de lodo sólo se retira cada 2 a 3 años.

### Pros y contras

- + Alta reducción de la DBO.
- + Puede soportar altas tasas de carga hidráulica y orgánica.
- + Baja producción de lodo (y, por lo tanto, no requiere desenlodado frecuente).
- + El biogás puede usarse para energía (generalmente requiere depuración antes de usarse).
- El tratamiento puede ser inestable con cargas orgánicas e hidráulicas variables.
- Requiere personal especializado para su operación y mantenimiento; es difícil conservar las condiciones hidráulicas adecuadas (las tasas de flujo ascendente y asentamiento deben estar equilibradas).
- Periodo inicial largo.
- Requiere una fuente constante de energía eléctrica.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lodo y el efluente requieren tratamiento adicional o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Lettinga, G., R. Roersma y P. Grin (1983), “Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor”, *Biotechnology and Bioengineering* 25 (7): 1701-1723. (Primer documento que describe el proceso.)
- Sperling, M. Von, y C. A. de Lemos Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume One*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido, pp. 741-804. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org). (Información de diseño detallada.)
- Tare, V., y A. Nema (s. f.), *UASB Technology – Expectations and Reality*, United Nations Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery, Beijing, China. Disponible en [www.unapcaem.org](http://www.unapcaem.org). (Evaluación de instalaciones de UASB en India.)
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York, pp. 1005-1016. (Descripción detallada e información de diseño.)
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido. (Resumen.)
- Vigneswaran, S., B. L. N. Balasuriya y T. Viraraghavan (1986), *Environmental Sanitation Reviews. Anaerobic Wastewater Treatment – Attached Growth and Sludge Blanket Process*, Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, Tailandia. (Resumen técnico, capítulo 5.)

**Nivel de aplicación:**

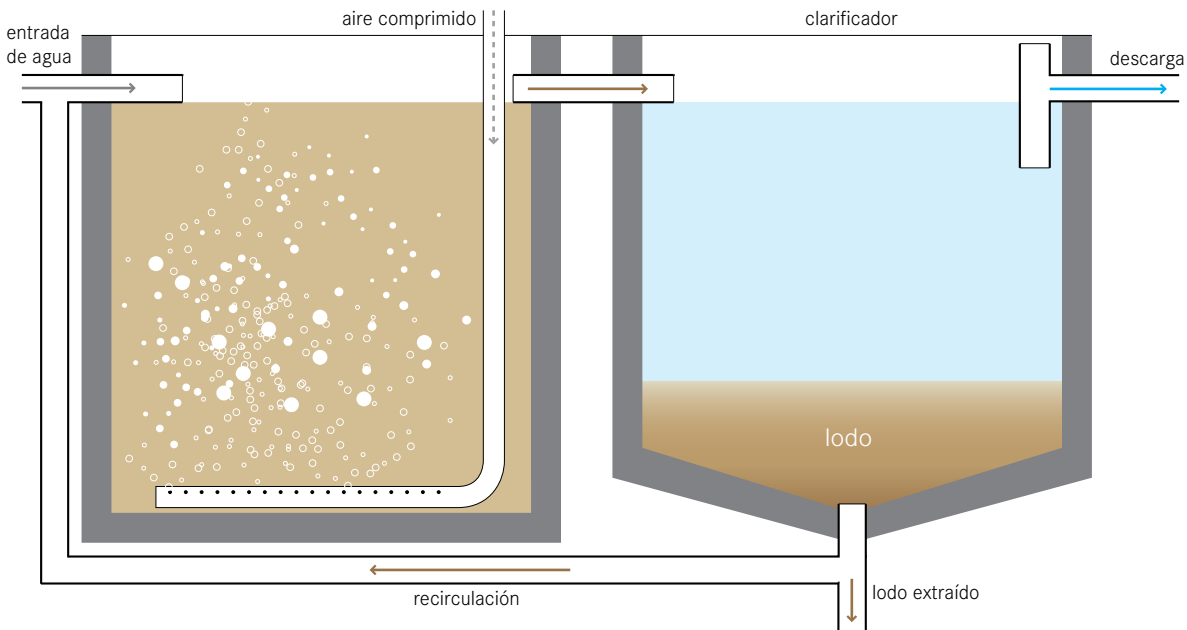
- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Efluente  Aguas negras  
 Aguas cafés  Aguas grises

**Salidas:**  Efluente  Lodo



**Un proceso de lodos activados se refiere a una unidad de reactor de varias cámaras que hace uso de microorganismos altamente concentrados para degradar orgánicos y remover nutrientes de aguas residuales para producir un efluente de alta calidad. Para mantener las condiciones aerobias y los lodos activados suspendidos se requiere un suministro oportuno y continuo de oxígeno.**

Se pueden emplear diferentes configuraciones del proceso de lodos activados para garantizar que las aguas residuales se mezclan y airean en un tanque de aireación. La aireación y la mezcla se realizan al bombear aire u oxígeno en el tanque o mediante el uso de aireadores superficiales. Los microorganismos oxidan el carbono orgánico en las aguas residuales para producir nuevas células, dióxido de carbono y agua. Aunque las bacterias aerobias son los organismos más comunes, también puede haber bacterias facultativas y organismos superiores. La composición exacta depende del diseño del reactor, el medio ambiente y las características de las aguas residuales.

Los flóculos (aglomeraciones de partículas de lodo) que se forman en el tanque de aireación pueden eliminarse

en el clarificador secundario mediante asentamiento por gravedad. Parte de este lodo es reciclado del clarificador de vuelta hacia el reactor. El efluente puede descargarse o tratarse en un centro de tratamiento terciario si fuera necesario para su uso posterior.

**Consideraciones de diseño** Los procesos de lodos activados son una parte de un sistema de tratamiento complejo. Se suelen usar después del tratamiento primario (que elimina sólidos sedimentados) y, a veces, son seguidos por un paso de tratamiento final (véase POST, p. 136). Los procesos biológicos que se producen son eficaces para remover materiales solubles, coloidales y partículas. El reactor puede diseñarse para nitrificación y desnitrificación biológica, así como para remover fósforo biológico.

El diseño debe basarse en una estimación precisa del volumen y de la composición de las aguas residuales. La eficacia del tratamiento puede verse seriamente comprometida si la planta es sub o sobredimensionada. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de retención de los sólidos en el reactor es de 3 a 5 días para la remoción de la DBO, y de 3 a 18 días para la nitrificación.

El exceso de lodo requiere tratamiento para reducir su

contenido de agua y orgánicos, y para obtener un producto estabilizado que sea adecuado para uso o disposición final. Es importante tener en cuenta este paso en la fase de planificación de la planta de tratamiento.

Para lograr las metas específicas del efluente para la DBO, el nitrógeno y el fósforo, se han hecho distintas modificaciones y adaptaciones al diseño básico del proceso de lodos activados. Las modificaciones más conocidas incluyen el reactor secuencial de flujo discontinuo (SBR), las zanjas de oxidación, la aireación extendida, el lecho móvil y el biorreactor de membrana.

**Idoneidad** Un proceso de lodos activados sólo es apropiado para una planta con sistema de tratamiento centralizado y personal bien capacitado, electricidad constante y un sistema de gestión altamente desarrollado para garantizar la operación y el mantenimiento adecuado de las instalaciones.

Debido a las economías de escala y a características menos fluctuantes del afluente, esta tecnología es más eficaz para el tratamiento de grandes volúmenes de flujo.

Un proceso de lodos activados puede adaptarse a casi cualquier clima. Sin embargo, la capacidad del tratamiento se reduce en ambientes más fríos.

**Aspectos de salud/aceptación** Debido a los requisitos de espacio y a los malos olores, las plantas con sistema de tratamiento centralizado generalmente se encuentran en la periferia de zonas densamente pobladas. Aunque el efluente producido es de alta calidad, representa un riesgo para la salud y no debe ser manejado directamente. Los patógenos se reducen sustancialmente en el exceso de lodo, pero no se eliminan por completo.


**Operación y mantenimiento** Se requiere personal altamente capacitado para dar mantenimiento y resolver problemas. El equipo mecánico (mezcladores, aireadores y bombas) debe mantenerse con regularidad. De igual forma, el afluente y efluente tienen que ser monitoreados y los parámetros de control deben ajustarse, si fuera necesario, para evitar anomalías que pudieran matar a la biomasa activa, así como generar organismos perjudiciales que pudieran afectar el proceso (por ejemplo, bacterias filamentosas).

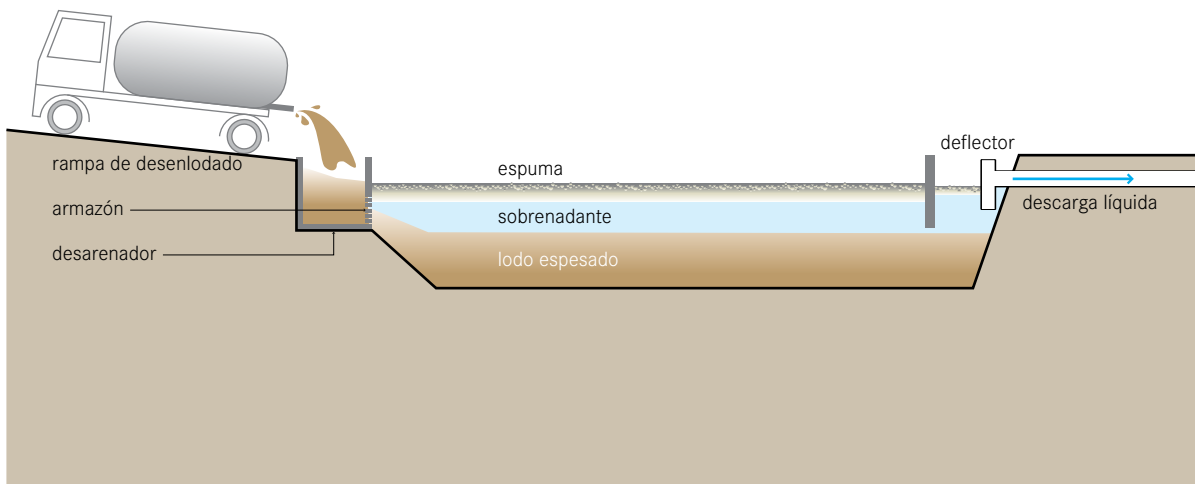
### Pros y contras

- + Resistente a cargas de choques orgánicos e hidráulicos.
- + Puede funcionar en una gama de cargas hidráulicas y orgánicas.
- + Alta reducción de DBO y patógenos (hasta 99 por ciento).
- + Alta eliminación de nutrientes.
- + Puede modificarse para cumplir límites específicos de descarga.
- Alto consumo de energía; requiere una fuente constante de energía eléctrica.
- Alto costo de inversión y costos operativos.
- Requiere personal especializado para su operación y mantenimiento.
- Propensos a problemas químicos y microbiológicos complejos.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lodo y el efluente requieren tratamiento adicional o descarga apropiada.

### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 451-504. (Capítulo de resumen que incluye problemas solucionados.)
- Ludwig, H. F., y K. Mohit (2000), "Appropriate Technology for Municipal Sewerage/Excreta Management in Developing Countries, Thailand Case Study", *The Environmentalist* 20 (3): 215-219. (Evaluación de la idoneidad de los lodos activados para Tailandia.)
- Sperling, M. von, y C. A. de Lemos Chernicharo (2005), *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Volume Two*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.iwawaterwiki.org](http://www.iwawaterwiki.org).
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York. (Información detallada de diseño.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Lodo
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Lodo  Efluente
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Las lagunas de sedimentación/espesamiento son lagunas de asentamiento donde el lodo se espesa y se deseca. El efluente es removido y tratado, mientras que el lodo espesado puede tratarse posteriormente con otra tecnología.**

El lodo fecal no es un producto uniforme y, por lo tanto, su tratamiento debe hacerse según las características específicas del lodo. El lodo que aún es rico en orgánicos y no ha sufrido degradación significativa es difícil de desecar. Por el contrario, el lodo que ha sido objeto de degradación anaerobia significativa es más fácil de desecar.

Para secarlo correctamente, primero se debe estabilizar el lodo fresco rico en materia orgánica (por ejemplo, lodo de letrina o sanitario público). Esto puede lograrse permitiendo que el lodo se degrade anaerobiamente en lagunas de sedimentación/espesamiento.

El mismo tipo de laguna se puede usar para espesar el lodo que esté parcialmente estabilizado (por ejemplo, procedente de una fosa séptica, S.9), aunque sufre menos degradación y requiere más tiempo para asentarse. El proceso de degradación podría dificultar el asentamiento de lodo porque los gases producidos se

convierten en burbujas que suben y vuelven a suspender los sólidos.

Conforme el lodo se asienta y digiere, el sobrenadante debe decantarse y tratarse por separado. El lodo espesado puede entonces desecarse o compostarse aún más.

**Consideraciones de diseño** Se requieren dos tanques operando de manera paralela; uno puede estar en funcionamiento mientras que el otro es vaciado. Para lograr la máxima eficiencia, los periodos de carga y reposo deben ser de 4 a 5 semanas, aunque ciclos más largos también son comunes. Cuando se usa un ciclo de 4 semanas de carga y 4 semanas de reposo, los sólidos totales (TS) pueden aumentar a 14% (dependiendo de la concentración inicial).

**Idoneidad** Las lagunas de sedimentación/espesamiento son apropiadas donde hay espacio barato y disponible, situado lejos de negocios y viviendas; se debe ubicar en las afueras de la comunidad. El lodo espesado es infeccioso, aunque es más fácil de manejar y menos propenso a salpicaduras y rociado. Se requiere personal capacitado para garantizar su adecuada operación y mantenimiento. Es una opción de bajo costo que puede

instalarse en la mayoría de climas calientes y templados. La lluvia excesiva podría impedir que el lodo se asiente y se espese correctamente.

**Aspectos de salud/aceptación** Tanto el lodo entrante como el espesado contienen patógenos; por lo tanto, los trabajadores deben estar equipados con protección adecuada (botas, guantes y ropa). El lodo espesado no está desinfectado y requiere tratamiento adicional (por lo menos un proceso de secado) antes de su uso o disposición final. Las lagunas pueden causar molestias para los residentes cercanos debido a malos olores y presencia de moscas. Por lo tanto, deben situarse lo suficientemente lejos de las zonas residenciales.

**Operación y mantenimiento** El mantenimiento es un aspecto importante del buen funcionamiento de las lagunas, pero no es intensivo. La zona de descarga debe mantenerse y limpiarse para reducir las posibilidades de transmisión de enfermedades y molestias (moscas y malos olores). Los desperdicios sólidos que se descargan junto con el lodo deben removerse de la rejilla situada a la entrada de las lagunas. El lodo espesado debe removerse mecánicamente (con un cargador frontal u otro equipo especializado) después de que haya espesado lo suficiente.




#### Pros y contras

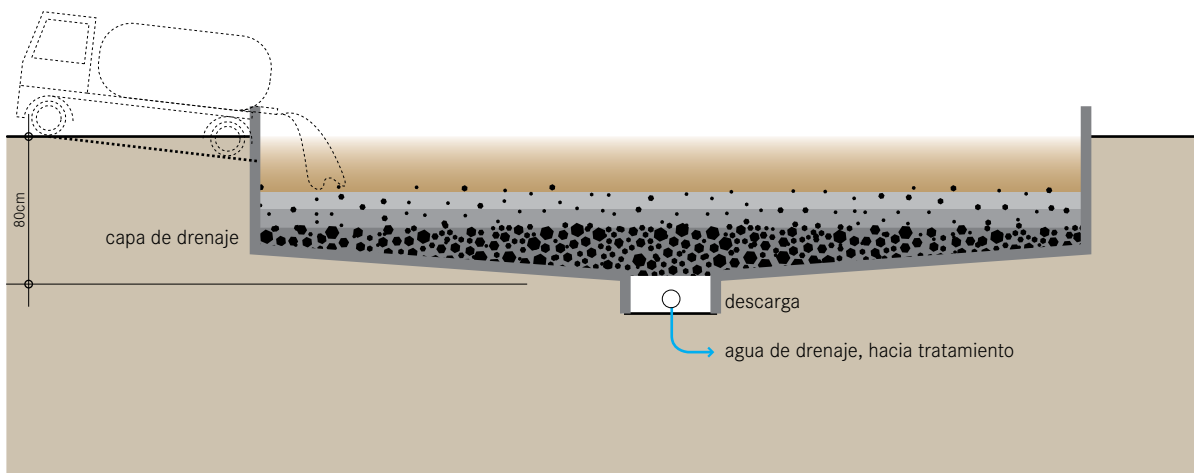
- + El lodo espesado es más fácil de manejar y menos propenso a salpicaduras y rociado.
- + Puede construirse y repararse con materiales disponibles localmente.
- + Costo de inversión relativamente bajo; bajos costos de operación.
- + No requiere energía eléctrica.
- Requiere un terreno grande.
- Normalmente hay malos olores y moscas.
- Necesita largos periodos de almacenamiento.
- Debe desenlodarse mecánicamente con un cargador frontal.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lodo y el efluente requieren tratamiento adicional.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Heiness, U., S. A. Larmie y M. Strauss (1998), *Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics – Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design. 2nd Ed. Report 05/98*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Heiness, U., S. A. Larmie y M. Strauss (1999), *Characteristics of Faecal Sludges and Their Solids-Liquid Separation*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Montangero, A., y M. Strauss (2002), *Faecal Sludge Treatment. Lecture Notes*, UNESCO-IHE, Delft, Países Bajos. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Lodo
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Lodo  Efluente
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Los lechos de secado sin plantas son lechos sencillos y permeables que, al ser cargados con lodo, recolectan el lixiviado percolado y permiten que el lodo se seque por evaporación. En general, de 50 a 80% del volumen de lodo drena como líquido o se evapora. El lodo, sin embargo, no se estabiliza ni desinfecta.**

El fondo del lecho de secado está revestido con tuberías perforadas para drenar el lixiviado que percola a través del lecho. Encima de los tubos hay capas de grava y arena que sostienen el lodo y permiten que el líquido se filtre y recolecte en la tubería. No debe aplicarse en capas demasiado gruesas (máximo 20 cm) o el lodo no se secará con eficacia. El contenido de humedad final después de 10 a 15 días de secado debe ser de 60%. Cuando el lodo se seca, debe separarse de la capa de arena y transportarse para tratamiento adicional, uso o disposición final. El lixiviado que es recolectado en los tubos de drenaje también debe ser tratado correctamente, dependiendo de dónde será descargado.

**Consideraciones de diseño** Los tubos de drenaje están cubiertos por 3 a 5 capas escalonadas de grava y

arena. La capa inferior debe ser grava gruesa y la capa superior debe ser arena fina (tamaño de grano de 0.1 a 0.5 mm). La capa superior de arena puede tener de 250 a 300 mm de espesor, ya que se perderá un poco de arena cada vez que se remueva el lodo.

Para mejorar el secado y la percolación, la aplicación de lodo puede alternarse entre dos o más lechos. La entrada debe estar equipada con una placa contra salpicaduras, para evitar la erosión de la capa de arena y permitir una distribución uniforme del lodo.

El diseño de lechos de secado sin plantas debe considerar el mantenimiento futuro, ya que es esencial garantizar el acceso a camiones y personas para poder bombear y remover el lodo seco.

Si se instala en climas húmedos, la instalación debe cubrirse con un techo. Se debe prestar especial atención para evitar el ingreso de escorrentía superficial.

**Idoneidad** El secado de lodo es una forma eficaz para disminuir su volumen, lo cual es importante cuando debe ser transportado a otro lugar para tratamiento adicional, uso o disposición final. La tecnología no es eficaz para estabilizar la fracción orgánica ni disminuir el contenido de patógenos. El lodo seco podría requerir más

tiempo de almacenamiento o tratamiento adicional (por ejemplo, compostaje, T.16).

Los lechos de secado sin plantas son apropiados para comunidades pequeñas y medianas con poblaciones hasta de 100 000 personas, aunque también existen en grandes aglomeraciones urbanas. Son preferibles en área periurbanas y rurales donde los terrenos sean baratos y haya espacio disponible lejos de negocios y viviendas. Si se diseñan para áreas urbanas, los lechos de secado sin plantas deben ubicarse en las afueras de la comunidad, pero dentro del alcance económico para los operadores de vaciado motorizados.

Es una opción de bajo costo que puede instalarse en la mayoría de climas calientes y templados. La lluvia excesiva podría impedir que el lodo seque adecuadamente.

**Aspectos de salud/aceptación** Tanto el lodo entrante como el seco contienen patógenos; por lo tanto, los trabajadores deben estar equipados con protección adecuada (botas, guantes y ropa). El lodo seco y el efluente no están desinfectados y requerirán almacenamiento o tratamiento adicional, dependiendo del uso que se les vaya a dar.

Los lechos de secado pueden causar molestias para los residentes cercanos debido a malos olores y presencia de moscas. Por lo tanto, deben situarse lo suficientemente lejos de las zonas residenciales.

**Operación y mantenimiento** Se requiere personal capacitado para garantizar una adecuada operación y mantenimiento. El lodo deshidratado puede removerse después de 10 a 15 días, pero esto depende de las condiciones climáticas. Dado que se pierde un poco de arena cada vez que se remueve el lodo, la capa superior debe reemplazarse cuando esté muy fina. El área de descarga y los drenajes del efluente deben lavarse con regularidad.







#### Pros y contras

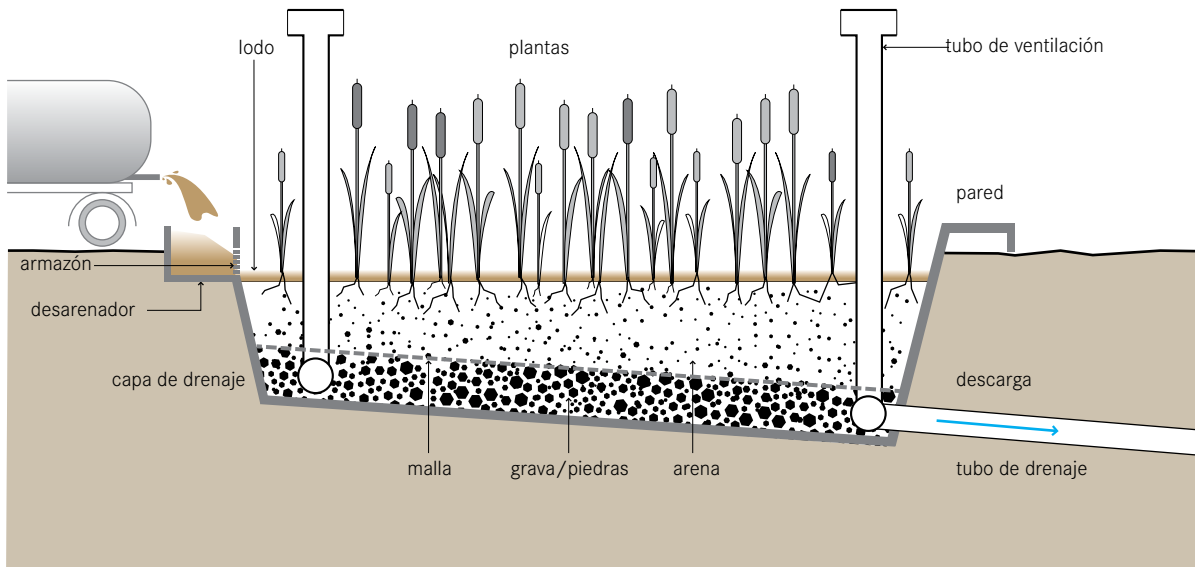
- + Buena eficiencia de desecación, especialmente en climas calientes y secos.

- + Puede construirse y repararse con materiales disponibles localmente.
- + Costo de inversión relativamente bajo; bajos costos de operación.
- + Operación simple; sólo requiere atención de vez en cuando.
- + No requiere energía eléctrica.
- Requiere un terreno grande.
- Normalmente hay malos olores y moscas.
- Requiere mano de obra intensiva para remover el lodo.
- Limitada estabilización y reducción de patógenos.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lixiviado requiere tratamiento adicional.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York.
- Heiness, U., y T. Koottatep (1998), *Use of Reed Beds for Faecal Sludge Dewatering. A Synopsis of Reviewed Literature and Interim Results of Pilot Investigations with Septage Treatment in Bangkok, Thailand*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza, y AIT, Bangkok, Tailandia. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Comparación de lechos de secado.)
- Montangero, A., y M. Strauss (2002), *Faecal Sludge Treatment. Lecture Notes*, UNESCO-IHE, Delft, Países Bajos. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York.

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Lodo
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Lodo  Efluente  Biomasa
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



El lecho de secado con plantas es similar al lecho de secado sin plantas (T.14), pero con el valor agregado de la transpiración y un mejor tratamiento de lodos debido a las plantas. La mejora clave del lecho con plantas sobre el lecho sin plantas es que no es necesario desenlodar los filtros después de cada ciclo de alimentación y secado. El lodo fresco puede ser aplicado directamente sobre la capa anterior; las plantas y sus sistemas de raíz mantienen la porosidad del filtro.

Esta tecnología tiene la ventaja de desecar y estabilizar el lodo. Además, las raíces de las plantas crean vías a través del lodo en espesamiento que permiten que el agua escape fácilmente.

El aspecto del lecho es similar a un humedal artificial de flujo vertical (T.9). Los lechos se llenan de arena y grava para sostener la vegetación. En lugar del efluente, el lodo se aplica a la superficie y el líquido filtrado fluye hacia abajo a través del subsuelo donde es recolectado en los desagües.

**Consideraciones de diseño** Los tubos de ventilación conectados al sistema de drenaje contribuyen con

las condiciones aerobias en el filtro. Un diseño general para superponer el lecho es: 1) 250 mm de grava gruesa (grano de 20 mm de diámetro); 2) 250 mm de grava fina (grano de 5 mm de diámetro), y 3) 100 a 150 mm de arena. Debe dejarse un espacio libre (1 m) sobre la parte superior de la capa de arena para 3 a 5 años de acumulación.

Se pueden usar plantas como carrizo (*Phragmites sp.*), tatora (*Typha sp.*), poáceas (*Echinochloa sp.*) y papiro (*Cyperus papyrus*), dependiendo del clima. Las especies locales y no invasoras pueden utilizarse si crecen en ambientes húmedos, son resistentes al agua salada y se reproducen fácilmente después del corte.

El lodo se debe aplicar en capas de 75 a 100 mm de espesor y volver a aplicar cada 3 a 7 días, dependiendo de las características del lodo, el ambiente y las limitaciones de operación. Se han reportado tasas de aplicación de lodo de 100 a 250 kg/m<sup>2</sup>/año en climas tropicales cálidos. En climas más fríos, como el norte de Europa, las tasas suelen ser hasta de 80 kg/m<sup>2</sup>/año. Dos o más lechos paralelos pueden usarse alternativamente para permitir suficiente degradación y reducción de patógenos de la capa superior de lodo antes de removerlo.

El lixiviado recolectado en los tubos de drenaje debe ser

tratado adecuadamente, dependiendo de dónde será descargado.

**Idoneidad** Esta tecnología es efectiva para disminuir el volumen de lodo (hasta 50%) a través de descomposición y secado, que es importante cuando el lodo debe ser transportado a otro lugar para su uso o disposición final.

Debido a sus requerimientos de área, los lechos de secado con plantas son más apropiados para comunidades pequeñas y medianas con poblaciones hasta 100 000 de personas, pero también pueden ser usados en grandes ciudades. Si se diseñan para áreas urbanas, los lechos de secado con plantas deben ubicarse en las afueras de la comunidad, pero dentro del alcance económico para los operadores de vaciado motorizados.

**Aspectos de salud/aceptación** Debido a su agradable estética, no debe haber problemas con su aceptación, sobre todo si se encuentra lo suficientemente lejos de zonas muy pobladas. Las plantaciones sin perturbaciones pueden atraer vida silvestre, incluyendo serpientes venenosas.

El lodo fecal es peligroso y cualquier trabajador debe estar equipado con protección adecuada (botas, guantes y ropa). El grado de reducción de patógenos en el lodo varía con el clima. Dependiendo del uso que se le vaya a dar, podría requerir almacenamiento y secado adicional.

**Operación y mantenimiento** Se requiere personal capacitado para garantizar una adecuada operación y mantenimiento. Se debe dar mantenimiento a los drenajes, y el efluente tiene que ser recolectado y desechado de manera adecuada. Las plantas deben haber crecido lo suficiente antes de aplicar el lodo. La fase de aclimatación es fundamental y requiere mucho cuidado. Las plantas deben ser podadas o cosechadas con regularidad. El lodo puede removerse después de 3 a 5 años.




#### Pros y contras

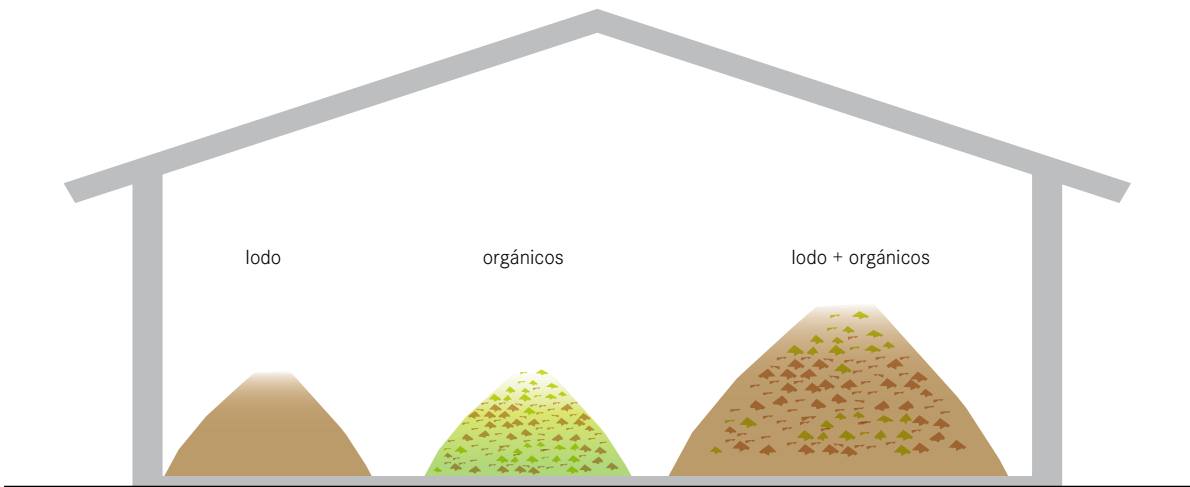
- + Puede manejar cargas elevadas.
- + Mejor tratamiento de lodo que los lechos de secado sin plantas.
- + Puede construirse y repararse con materiales disponibles localmente.

- + Costo de inversión relativamente bajo; bajos costos de operación.
- + Los frutos o forrajes que crecen en los lechos pueden generar ingresos.
- + No requiere energía eléctrica.
- Requiere un terreno grande.
- Puede haber moscas y malos olores.
- Largos periodos de almacenamiento.
- Requiere mano de obra intensiva para remover el lodo.
- Requiere experiencia en diseño y construcción.
- El lixiviado requiere tratamiento adicional.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York.
- Heinss, U., y T. Koottatep (1998), *Use of Reed Beds for Faecal Sludge Dewatering. A Synopsis of Reviewed Literature and Interim Results of Pilot Investigations with Septage Treatment in Bangkok, Thailand*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza, y AIT, Bangkok, Tailandia. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Kengne Noumsi, I. M. (2008), "Potentials of Sludge Drying Beds Vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for Faecal Sludge Treatment in Tropical Regions", tesis de doctorado, University of Yaounde, Yaounde, Camerún. Disponible en [www.north-south.unibe.ch](http://www.north-south.unibe.ch).
- Koottatep, T., N. Surinkul, C. Polprasert, A. S. M. Kamal, D. Koné, A. Montangero, U. Heinss y M. Strauss (2005), "Treatment of Septage in Constructed Wetlands in Tropical Climate - Lessons Learnt after Seven Years of Operation", *Water Science & Technology* 51 (9): 119-126. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York, p. 1578.

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Lodo  Orgánicos
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Composta
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



El co-compostaje es la degradación aerobia controlada de orgánicos, usando más de una materia prima (lodo fecal y orgánicos sólidos). El lodo fecal tiene un alto contenido de nitrógeno y humedad, mientras que los desperdicios sólidos biodegradables poseen alto contenido de carbono orgánico y propiedades para incrementar el volumen (es decir, permite que el aire fluya y circule). Al combinar ambos, los beneficios de cada uno se pueden usar para optimizar el proceso y el producto.

Hay dos tipos de diseño de co-compostaje: abierto y cerrado. En el compostaje abierto, el material mezclado (lodo y desperdicios sólidos) se coloca en montones, llamados pilas, y se dejan descomponer. A menudo el material de las pilas se voltea para proporcionar oxígeno y garantizar que todas las partes de la pila estén sujetas al mismo tratamiento con calor. El compostaje cerrado requiere controlar la humedad y el suministro de aire, así como la mezcla mecánica. Por lo tanto, no se recomienda para instalaciones descentralizadas. Aunque el proceso de compostaje parece ser una tecnología pasiva y sencilla, requiere un diseño meticuloso y

una planificación cuidadosa para evitar averías en las instalaciones y que éstas funcionen de forma adecuada.

**Consideraciones de diseño** Las instalaciones deben estar ubicadas cerca de las fuentes de desperdicios y lodo fecal para reducir los costos de transporte, pero lo suficientemente lejos de viviendas y negocios para minimizar las molestias. Dependiendo del clima y el espacio disponible, las instalaciones pueden cubrirse para evitar el exceso de evaporación o protegerlas de la lluvia y el viento.

Para el lodo desecado debe usarse una proporción de 1:2 de lodo por 1:3 de desperdicios sólidos. El lodo líquido debe ser utilizado en una proporción de 1:5 de lodo por 1:10 de desperdicios sólidos. Las pilas deben medir al menos 1 m de alto y deben cubrirse con composta o tierra como aislante, para promover una distribución uniforme de calor dentro de la pila.

**Idoneidad** Una instalación de co-compostaje sólo se recomienda cuando hay una fuente disponible de desperdicios sólidos biodegradables clasificados de manera adecuada. Los desperdicios sólidos que contienen plásticos y basura deben clasificarse primero. Cuando se

hace con cuidado, el co-compostaje puede producir un acondicionador de suelo limpio, agradable y beneficioso. En vista de que la humedad juega un papel importante en el proceso de compostaje, se recomiendan instalaciones cubiertas donde haya fuertes lluvias.

Aparte de las consideraciones técnicas, el compostaje sólo tiene sentido si hay una demanda para el producto (de clientes dispuestos a comprar la composta). Con el fin de encontrar compradores, debe producirse una composta consistente y de buena calidad; esto depende de una buena clasificación inicial y de un proceso termófilo bien controlado.

**Aspectos de salud/aceptación** Mantener la temperatura en la pila de 55 a 60 °C puede reducir la carga de patógenos en el lodo hasta alcanzar un nivel seguro para tocarlo y trabajar con él. Aunque la composta terminada pueda ser manejada con seguridad, se debe tener cuidado, independientemente del tratamiento anterior. Si el material está polvoriento, los trabajadores deben usar ropa protectora y equipo respiratorio apropiado. Una ventilación adecuada y un control del polvo también son aspectos importantes.

**Operación y mantenimiento** La mezcla debe diseñarse minuciosamente para que tenga la relación C:N, la humedad y el contenido de oxígeno que necesita. Si existieran instalaciones, sería útil monitorear la inactivación de huevecillos de helmintos como indicador para medir la esterilización.

Es necesario contar con personal capacitado para la operación y el mantenimiento de las instalaciones. El personal de mantenimiento debe cuidar la calidad del material del afluente, y mantener un registro de las afluencias, flujos de aire, horarios de volteo y tiempos de maduración, para garantizar un producto de alta calidad. Los sistemas de aireación forzada también deben ser cuidadosamente controlados y monitoreados.

El volteado debe realizarse de manera constante, ya sea con un cargador frontal o con la mano. Las trituradoras para picar trozos grandes de desperdicios sólidos (esto es, ramas pequeñas y cáscaras de coco) y los volteadores de pilas ayudan a optimizar el proceso, reducir el trabajo manual y garantizar un producto final más homogéneo.

### Pros y contras

+ Relativamente sencillo de montar y mantener con capacitación adecuada.

- + Proporciona un recurso valioso que puede mejorar la agricultura local y la producción de alimentos.
- + Es posible eliminar gran cantidad de huevecillos de helmintos (< 1 huevo viable/g TS).
- + Puede construirse y repararse con materiales disponibles localmente.
- + Los costos de capital y operativos son bajos.
- + No requiere energía eléctrica.
- Requiere un terreno grande (y bien ubicado).
- Largos periodos de almacenamiento.
- Requiere experiencia en diseño y personal calificado para su operación.
- Requiere mano de obra intensiva.
- La composta es demasiado voluminosa para que sea económicamente rentable transportarla largas distancias.

### Referencias y lecturas adicionales

- Hoornweg, D., L. Thomas y L. Otten (2000), *Composting and Its Applicability in Developing Countries. Urban Waste Management Working Paper Series No. 8*, Banco Mundial, Washington, D. C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Koné, D., O. Cofie, C. Zurbrügg, K. Gallizzi, D. Moser, S. Drescher y M. Strauss (2007), "Helminth Eggs Inactivation Efficiency by Faecal Sludge Dewatering and Co-Composting in Tropical Climates", *Water Research* 41 (19): 4397-4402.
- Obeng, L. A., y F. W. Wright (1987), *Integrated Resource Recovery. The Co-Composting of Domestic Solid and Human Wastes*, Banco Mundial y UNDP, Washington, D. C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](https://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Rouse, J., S. Rothenberger y C. Zurbrügg (2008), *Marketing Compost, a Guide for Compost Producers in Low and Middle-Income Countries*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza.  
Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido.  
Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).  
(Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)
- Strauss, M., S. Drescher, C. Zurbrügg, A. Montangero, O. Cofie y P. Drechsel (2003) *Co-Composting of Faecal Sludge and Municipal Organic Waste. A Literature and State-of-Knowledge Review*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza, y IWMI, Accra, Ghana.  
Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).

**Nivel de aplicación:**

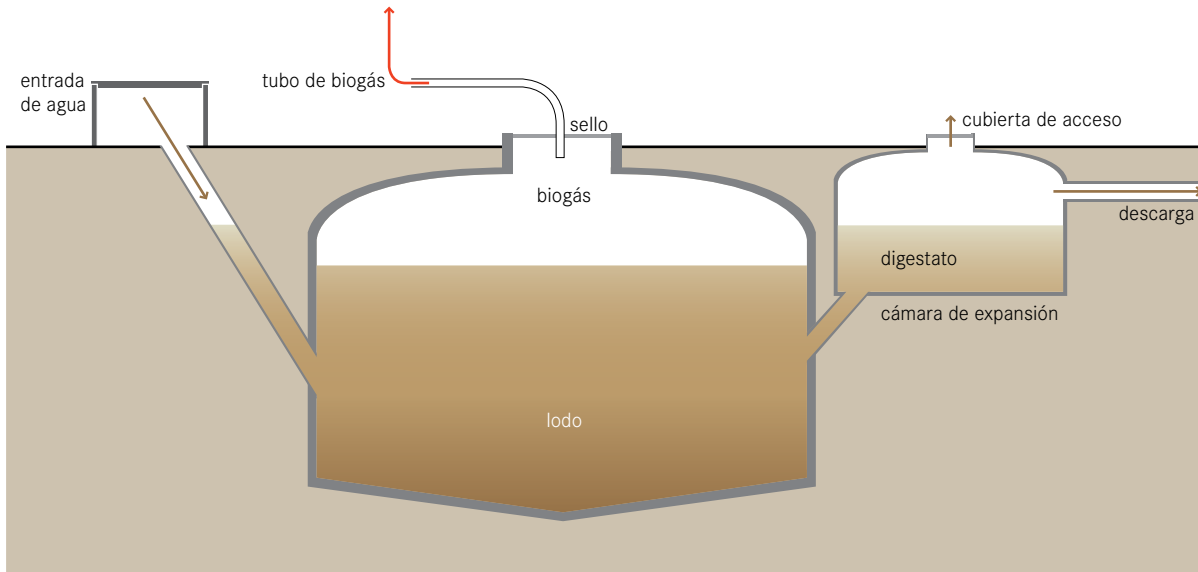
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★★ Ciudad

**Nivel de manejo:**

- ★★ Vivienda
- ★★ Compartido
- ★★ Público

**Entradas:** Lodo (café), Aguas negras (azul), Aguas cafés (rojo), Orgánicos (verde)

**Salidas:** Lodo (café), Biogás (rojo)



**Un reactor de biogás o digestor anaerobio es una tecnología de tratamiento anaerobio que produce:**

**a) una mezcla digerida (digerido), que puede ser usada como fertilizante, y b) biogás, que puede ser utilizado para energía. El biogás es una mezcla de metano, dióxido de carbono y otros vestigios gaseosos que se pueden convertir en calor, electricidad o luz.**

Un reactor de biogás es una cámara hermética que facilita la degradación anaerobia de aguas negras, lodos o desperdicios biodegradables. También facilita la recolección del biogás producido en los procesos de fermentación en el reactor. El gas se forma en el lodo y se acumula en la parte superior de la cámara, mezclando el lodo conforme sube. El lodo digerido es rico en orgánicos y nutrientes, casi no tiene mal olor y sus patógenos están parcialmente inactivos.

**Consideraciones de diseño** Los reactores de biogás pueden ser domos construidos de ladrillo o tanques prefabricados, instalados por encima o por debajo del suelo, dependiendo de las características del suelo, espacio, recursos disponibles y volumen de desperdicios

generado. Pueden construirse como domos fijos o como domos digestores flotantes. En el domo fijo el volumen del reactor es constante. Conforme se genera el gas, ejerce una presión y desplaza la mezcla de lodo hacia arriba, a una cámara de expansión. Cuando el gas es removido, la mezcla fluye hacia el reactor. La presión puede ser usada para transportar el biogás a través de las tuberías. En un reactor de domo flotante el domo sube y baja según la producción y el retiro de gas. Otras veces puede expandirse (como un globo). Para minimizar las pérdidas de distribución, los reactores deben instalarse cerca de donde el gas será usado.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el reactor debe ser al de menos 15 días en climas cálidos y de 25 días en climas templados. Para entradas muy patogénicas, debe considerarse un TRH de 60 días. Normalmente los reactores de biogás funcionan en el rango de temperatura mesofílico de 30 a 38 °C. Una temperatura termofílica, de 50 a 57 °C, podría garantizar la destrucción de patógenos, pero sólo puede lograrse al calentar el reactor (aunque en la práctica esto sólo se encuentra en países industrializados).

A menudo los reactores de biogás están directamente conectados a sanitarios privados o públicos, con un pun-

to de acceso adicional para materiales orgánicos. A nivel de viviendas, es posible que los reactores estén hechos con recipientes plásticos o de ladrillo. Los tamaños pueden variar desde 1 000 L para una sola familia hasta 100 000 L para sanitarios públicos o institucionales. Debido a que la producción de lodo digerido es continua, debe preverse su almacenamiento, uso o transporte fuera del sitio.

**Idoneidad** Esta tecnología puede aplicarse en viviendas y en pequeños vecindarios o en la estabilización de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes. Es más adecuada donde hay forrajes.

A menudo el reactor de biogás se utiliza como alternativa a la fosa séptica (S.9), ya que ofrece un nivel similar de tratamiento, pero con el valor agregado del biogás. Sin embargo, no es posible lograr una producción de gas significativa si el único afluente son las aguas negras. Los niveles más altos de producción de biogás se obtienen con substratos concentrados, que son ricos en materia orgánica como estiércol, productos orgánicos del mercado o desperdicios domésticos. Puede ser eficiente en la codigestión de aguas negras de una vivienda sólo si el estiércol es la principal materia prima. No se deben agregar aguas grises porque reducen sustancialmente el TRH. Los materiales como paja y madera son difíciles de degradar y deben evitarse en el sustrato.

Los reactores de biogás son menos apropiados para climas más fríos, ya que la tasa de conversión de materia orgánica en biogás es muy baja —por debajo de los 15 °C—. En consecuencia, el TRH debe ser más largo y el volumen del diseño debe incrementarse sustancialmente.

**Aspectos de salud/aceptación** El lodo digerido está parcialmente desinfectado, pero aún conlleva un riesgo de infección. Dependiendo de su uso final, requerirá tratamiento adicional. También hay peligros asociados con los gases inflamables que, de ser mal manejados, pueden ser perjudiciales para la salud humana.

**Operación y mantenimiento** Si el reactor está correctamente diseñado y construido, las reparaciones deben ser mínimas. Para poner en marcha el reactor debe inocularse con bacterias anaerobias; por ejemplo, mediante la adición de estiércol de vaca o lodo de la fosa séptica. Los orgánicos usados como sustrato de-

ben triturarse y mezclarse con agua o lodo digerido antes de la alimentación.

El equipo de gas debe limpiarse cuidadosa y periódicamente para prevenir la corrosión y las fugas. La arenilla y la arena que se han asentado en el fondo deben ser removidas. Dependiendo del diseño y de los afluentes, el reactor puede vaciarse una vez cada 5 a 10 años.

### Pros y contras

- + Generación de energía renovable.
- + Requiere un terreno pequeño (la mayor parte de la estructura puede construirse bajo tierra).
- + No requiere energía eléctrica.
- + Conserva los nutrientes.
- + Larga vida útil.
- + Bajos costos de operación.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- Eliminación incompleta de patógenos; el lodo digerido podría requerir tratamiento adicional.
- Limitada producción de gas por debajo de los 15 °C.

### Referencias y lecturas adicionales

- CMS (1996), *Biogas Technology: A Training Manual for Extension*. FAO/TCP/NEP/4451-T, Consolidated Management Services, Kathmandu, Nepal. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org).
- GTZ (1998), *Biogas Digest. Volume I-IV. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Mang, H.-P., y Z. Li (2010), *Technology Review of Biogas Sanitation. Draft – Biogas Sanitation for Blackwater, Brown Water, or for Excreta Treatment and Reuse in Developing Countries*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Ulrich, A. (ed.), S. Reuter (ed.), B. Gutterer (ed.), L. Sasse, T. Panzerbieter y T. Reckerzügel (2009), *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*, WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Reino Unido.
- Vögeli, Y., C. R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener y C. Zurbrügg (2014), *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).



**Nivel de aplicación:**

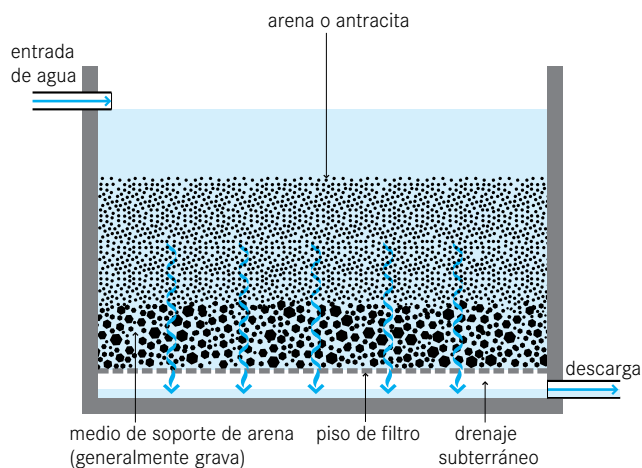
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

**Nivel de manejo:**

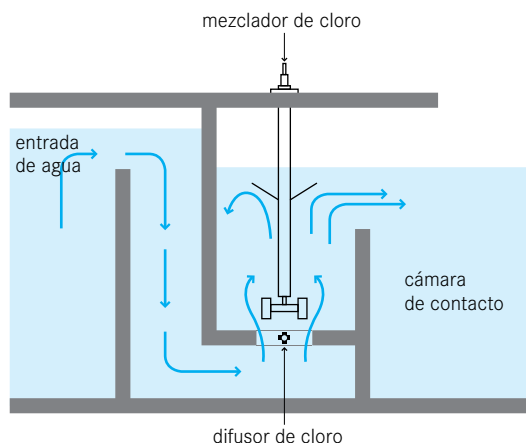
- Vivienda
- Compartido
- Público

**Entradas:**  Efluente

**Salidas:**  Efluente



filtración terciaria (p. ej., filtración en profundidad)



desinfección (p. ej., cloración)

**Dependiendo del uso final del efluente o de los estándares nacionales sobre descargas en cuerpos de agua, se necesitará un paso de postratamiento para eliminar patógenos, sólidos suspendidos residuales o componentes disueltos. Para lo anterior, los procesos de filtración terciaria y desinfección son los más empleados.**

El postratamiento no siempre es necesario y se recomienda un enfoque pragmático. La calidad del efluente debe coincidir con la práctica de uso prevista o la calidad del cuerpo de agua receptor. Los lineamientos de la OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises (*Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*) brindan información útil sobre la evaluación y la gestión de riesgos asociados a peligros microbianos y químicos tóxicos.

Entre una amplia gama de tecnologías de tratamiento avanzadas y terciarias para el efluente, las más difundidas incluyen la filtración terciaria y los procesos de desinfección.

**Filtración terciaria** Los procesos de filtración pueden clasificarse como filtración profunda (o lecho compacto) o filtración superficial. La filtración profunda con-

siste en remover los sólidos suspendidos residuales pasando el líquido a través de un lecho compacto compuesto por un medio de filtración granular (por ejemplo, arena). Si se usa carbón activado como medio de filtración, el proceso dominante será la adsorción. Los absorbentes de carbón activado no sólo remueven una gran variedad de compuestos inorgánicos y orgánicos, sino que también eliminan el olor y el sabor. La filtración superficial consiste en remover el material particulado por tamizado mecánico cuando el líquido pasa a través de un tabique fino (esto es, capa del filtro). Las membranas también pueden servir como filtros superficiales. Actualmente se están desarrollando procesos de filtración por membrana de baja presión (incluidos los filtros de membrana impulsados por gravedad). La filtración profunda es utilizada con éxito para eliminar quistes y ooquistes de protozoarios, mientras que las membranas de ultrafiltración pueden eliminar bacterias y virus.

**Desinfección** La destrucción, inactivación o remoción de microorganismos patógenos se puede lograr por medios químicos, físicos o biológicos. Debido a su bajo costo, alta disponibilidad y fácil operación, históricamente el cloro ha sido el desinfectante más usado para el tratamiento de aguas residuales. El cloro oxida la materia

orgánica, incluyendo los microorganismos y los patógenos. No obstante, las preocupaciones sobre el uso de subproductos desinfectantes y químicos perjudiciales han llevado a buscar sistemas alternativos de desinfección, como radiación ultravioleta (UV) y ozonización (O3). La radiación UV se encuentra en la luz del sol y elimina bacterias y virus. Es así como en lagunas poco profundos (véase T.5) la desinfección ocurre de forma natural. La radiación UV también puede generarse con lámparas especiales instaladas en un canal o una tubería. El ozono es un poderoso oxidante y se genera del oxígeno en un proceso energético intensivo. Degrada contaminantes inorgánicos y orgánicos, incluidos los agentes productores de olor. De forma similar al cloro, la formación de subproductos no deseados es uno de los problemas asociados con el uso del ozono como desinfectante.

**Idoneidad** La decisión de instalar una tecnología de postratamiento depende sobre todo de la calidad requerida para el uso final deseado del efluente o los estándares nacionales. Otros factores son las características del efluente, el presupuesto, la disponibilidad de materiales y la capacidad de operación y mantenimiento. Los patógenos tienden a ser enmascarados por los sólidos suspendidos en el efluente secundario sin filtrar. Por lo tanto, un paso de filtración antes de la desinfección produce resultados mucho mejores con menos productos químicos.

Los filtros de membrana son costosos y requieren conocimientos específicos de operación y mantenimiento para no dañar la membrana. En la adsorción de carbón activado el material del filtro queda contaminado después del uso y es necesario un adecuado tratamiento/disposición final. No debe usarse cloro si el agua contiene cantidades significativas de materia orgánica, ya que podría formar subproductos de la desinfección. Los costos de ozonización generalmente son más altos en comparación con otros métodos de desinfección.

**Aspectos de salud/aceptación** En la desinfección con cloro u ozono se pueden formar subproductos que ponen en peligro la salud humana y ambiental. También hay preocupaciones de seguridad relacionadas con el manejo y el almacenamiento del cloro líquido. La adsorción de carbón activado y la ozonización pueden quitar colores y olores desagradables, aumentando la aceptación de reutilización de agua reciclada.

**Operación y mantenimiento** Todos los métodos de postratamiento requieren monitoreo continuo (calidad de afluente y efluente, pérdida de carga de filtros,

dosificación de desinfectantes, etcétera) para garantizar un alto rendimiento.

Debido a la acumulación de sólidos y al crecimiento microbiano, la eficacia de la arena, las membranas y los filtros de carbón activado disminuye con el tiempo. Por lo tanto, se requiere limpieza (lavado) frecuente o reemplazo del material del filtro. Para la cloración, se necesita personal capacitado con el fin de determinar la dosis correcta de cloro y garantizar una mezcla adecuada. El ozono debe ser generado en el sitio, ya que es químicamente inestable y se descompone rápidamente en oxígeno. En la desinfección UV, la lámpara de UV necesita ser limpiada con frecuencia y reemplazada cada año.

### Pros y contras

- + Eliminación adicional de patógenos o contaminantes químicos.
- + Permite la reutilización directa de las aguas residuales tratadas.
- Las habilidades, la tecnología, los repuestos y los materiales podrían no estar disponibles localmente.
- Los costos de capital y operación pueden ser muy altos.
- Algunas tecnologías requieren una fuente constante de electricidad o productos químicos.
- Requiere una supervisión continua del afluente y el efluente.
- Los materiales filtrantes necesitan ser lavados con frecuencia o reemplazados.
- La cloración y ozonización pueden formar subproductos de desinfección tóxicos.

### Referencias y lecturas adicionales

- NWRI (2012), *Ultraviolet Disinfection. Guidelines for Drinking Water and Water Reuse*, 3ª ed., National Water Research Institute and Water Research Foundation, Fountain Valley, California. Disponible en [www.nwri-usa.org](http://www.nwri-usa.org).
- Robbins, D. M., y G. C. Ligon (2014), *How to Design Wastewater Systems for Local Conditions in Developing Countries*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido.
- SSWM Toolbox, [www.sswm.info/category/implementation-tools/water-purification](http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-purification) (última consulta: febrero de 2014).
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York, pp. 1035-1330.
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).

Esta sección presenta las diferentes tecnologías y métodos usados para devolver los productos al ambiente, ya sea como recursos útiles o materiales de riesgo reducido. Si hay un uso final para los productos del efluente, pueden aplicarse o usarse. De lo contrario, deben ser desechados de la forma que sea menos dañina para las personas y el medio ambiente. Cuando proceda, las fichas tecnológicas harán referencia a los lineamientos de la OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises (*Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*).

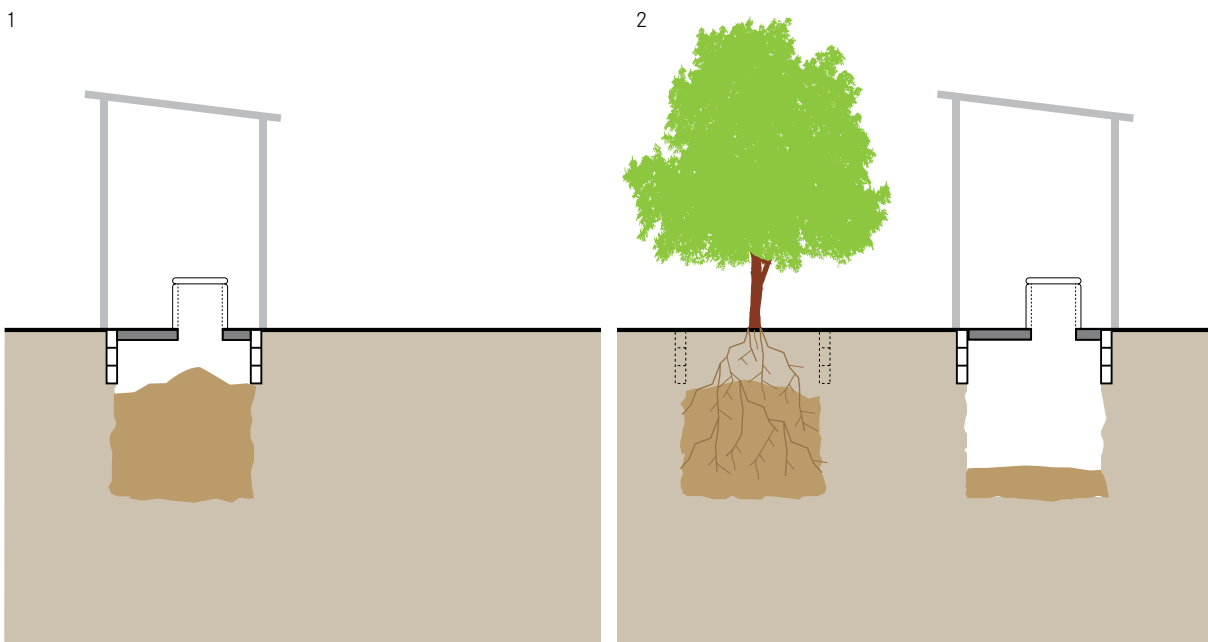
- D.1 Relleno y cubierta/Sanihuerto o Arborloo
- D.2 Aplicación de la orina almacenada
- D.3 Aplicación de las heces deshidratadas
- D.4 Aplicación del humus y composta
- D.5 Aplicación de lodo
- D.6 Riego
- D.7 Pozo de absorción
- D.8 Lecho de infiltración
- D.9 Laguna de acuicultura o acuacultura
- D.10 Laguna de plantas flotantes
- D.11 Disposición final del agua/recarga de acuíferos
- D.12 Disposición final en superficie
- D.13 Combustión de biogás

En cualquier contexto, la elección de la tecnología generalmente depende de los siguientes factores:

- Tipo y calidad de los productos
- Aceptación sociocultural
- Demandas locales
- Aspectos legales
- Disponibilidad de materiales y equipos
- Disponibilidad de espacio
- Características de suelos y acuíferos



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> Excretas ( ) Heces ( ) ( ) Orgánicos (+ ) Agua de limpieza anal (+ ) Materiales secos de limpieza
(★★) Vivienda (★★) Vecindario ( ) Ciudad	(★★) Vivienda (★) Compartido ( ) Público	<b>Salidas:</b> ( ) Biomasa



Para cerrar definitivamente una cámara sólo se debe llenar o cubrir con tierra. Aunque no hay beneficios, la cámara llena no planteará ningún riesgo inmediato para la salud y el contenido se degradará de forma natural con el tiempo. Otra opción es el ArborLoo, el cual es una cámara poco profunda que se llena con excretas y tierra/ceniza y que luego se cubre con más tierra; el árbol que se plante sobre la cámara rica en nutrientes crecerá con firmeza.

Cuando una cámara simple (S. 2) o una cámara simple mejorada ventilada (S. 3) está llena y no se puede vaciar, el “relleno y cubierta” (esto es, el llenado del resto de la cámara para luego cubrirla) es una buena opción, aunque los beneficios que tiene para el ambiente y los usuarios son muy limitados.

El Sanihuerto o ArborLoo es una cámara poco profundo en el cual se puede plantar un árbol después de que esté llena; mientras que la superestructura, la viga de anillo y la losa se pueden mover a una nueva cámara. Antes de usar el ArborLoo, se coloca una capa de hojas en el fondo de la cámara vacía. Se deben cubrir las excretas después de cada defecación con una taza de tie-

rra, ceniza o con una mezcla ambos. Si están disponibles, también se pueden añadir hojas para mejorar la porosidad y el contenido de aire de la pila. Cuando la cámara está llena (generalmente, de 6 a 12 meses) los 15 cm de la parte superior se llenan con tierra para plantar el árbol. Algunos árboles que han tenido éxito son banano, papaya y guayaba, entre otros.

**Consideraciones de diseño** Un ArborLoo es sólo una opción si el sitio es adecuado para que un árbol crezca. Por lo tanto, al seleccionar la ubicación de la cámara los usuarios deben tener en cuenta las condiciones del espacio y el sitio necesarias para un nuevo árbol (por ejemplo, distancia de las viviendas).

Se necesita una cámara poco profunda, de aproximadamente 1 m, para un ArborLoo. No debe tener ningún revestimiento ni cubierta, ya que esto impide que el árbol o la planta crezcan correctamente.

Nunca se debe plantar un árbol directamente en las excretas crudas. Se debe hacer en la tierra que cubre la parte superior de la cámara, para permitir que las raíces penetren en los contenidos de ésta a medida que crece. Si el agua escasea, será mejor esperar a la temporada de lluvias antes de plantarlo.

**Idoneidad** Llenar y cubrir una cámara es una solución adecuada cuando el vaciado no es posible y hay suficiente espacio para cavar nuevas cámaras. El ArborLoo se puede usar en áreas rurales, periurbanas e, incluso, densas, mientras haya suficiente espacio disponible. Plantar un árbol en una cámara abandonada es una buena manera de reforestar un área, proporcionar una fuente sostenible de fruta y evitar que las personas caigan en antiguas cámaras.

Otras plantas, como tomates y calabazas, también pueden plantarse sobre la cámara si no hay árboles disponibles. Sin embargo, dependiendo de las condiciones locales, el contenido de una cámara o ArborLoo cubierto podría contaminar los acuíferos hasta que esté completamente descompuesto.

**Aspectos de salud/aceptación** Existe un riesgo mínimo de infección cuando la cámara está bien cubierta y claramente marcada. Es preferible cubrir la cámara y plantar un árbol en lugar de vaciarla, especialmente si no hay una tecnología adecuada disponible para remover y tratar el lodo fecal. Los usuarios no entran en contacto con el material fecal y, por lo tanto, existe un riesgo muy bajo de transmisión de patógenos.

Los proyectos de demostración de ArborLoo que permiten la participación de la comunidad son útiles para informar sobre lo fácil que es el sistema, su naturaleza inofensiva y el valor nutritivo de las excretas humanas.

**Operación y mantenimiento** Se deben cubrir las excretas después de cada defecación con una taza de tierra y/o ceniza, así como con hojas de vez en cuando. Además, el contenido de la cámara debe ser nivelado periódicamente para evitar que se concentre de forma cónica en el medio.









Una cámara cerrada requiere poco mantenimiento, con la excepción del cuidado del árbol o de la planta. Los árboles plantados en cámaras abandonadas deben regarse con regularidad. Se debe construir una pequeña valla con palos y sacos alrededor del árbol para protegerlo de los animales.

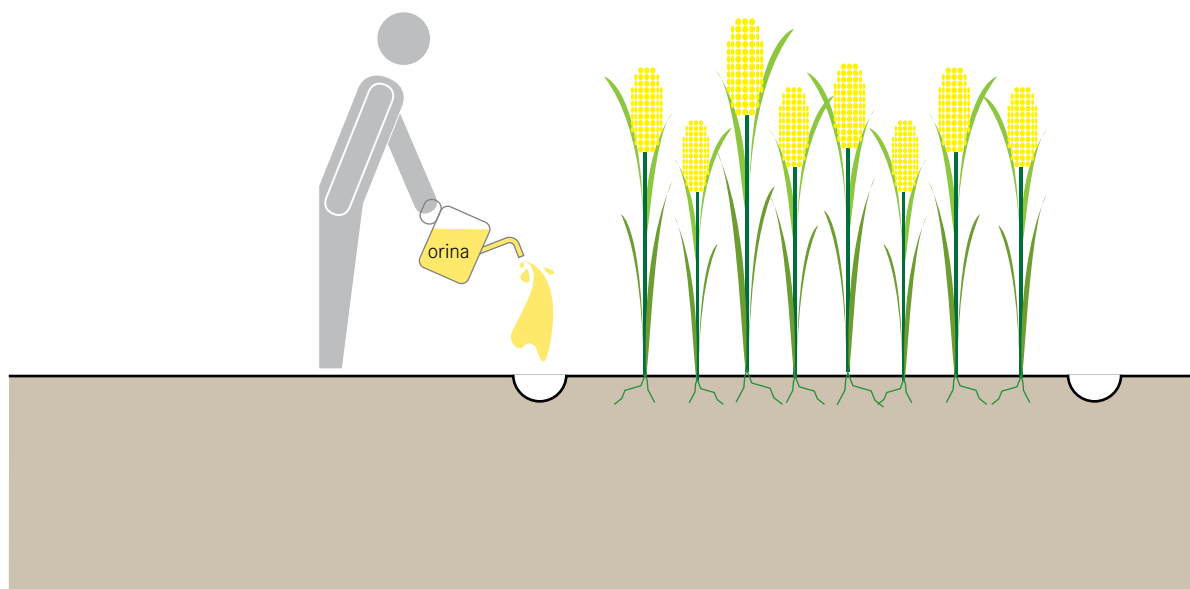
### Pros y contras

- + Técnica sencilla de aplicar para cualquier usuario.
- + Bajo costo.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- + Puede fomentar la generación de ingresos (plantación de árboles y producción de frutos).
- La cámara nueva debe ser cavada; la cámara antigua no se puede volver a usar.
- Cubrir una cámara o plantar un árbol no elimina el riesgo de contaminación de los acuíferos.

### Referencias y lecturas adicionales

- Hebert, P. (2010), *Rapid Assessment of CRS Experience with Arborloos in East Africa*, Catholic Relief Service (CRS), Baltimore.  
Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Morgan, P. R. (2004), *An Ecological Approach to Sanitation in Africa. A Compilation of Experiences*, Aquamor, Harare, Zimbabue. Capítulo 10: “The Usefulness of Urine”.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia, pp. 81-90.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia.  
Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- NWP (2006), *Smart Sanitation Solutions. Examples of Innovative, Low-Cost Technologies for Toilets, Collection, Transportation, Treatment and Use of Sanitation Products*, Netherlands Water Partnership, La Haya, Países Bajos, p. 51.  
Disponible en [www.ircwash.org](http://www.ircwash.org).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Orina almacenada
<ul style="list-style-type: none"> <li> Vivienda</li> <li> Vecindario</li> <li> Ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Vivienda</li> <li> Compartido</li> <li> Público</li> </ul>	<b>Salidas:</b>  Biomasa



**La orina almacenada es una fuente concentrada de nutrientes que se puede aplicar como fertilizante líquido en la agricultura, y sustituir todos o algunos fertilizantes químicos comerciales.**

Los lineamientos para el uso de la orina se basan en el tiempo y la temperatura de almacenamiento (véase lineamientos de la OMS para el uso seguro de excretas en la agricultura). Sin embargo, suele aceptarse que si la orina es almacenada al menos por un mes será segura para su aplicación agrícola a nivel de vivienda. Si la orina se usará en cultivos que consumirán otras personas, además del productor de la orina, debe almacenarse durante seis meses.

Otro uso de la orina es como aditivo para enriquecer la composta. Las tecnologías para la producción de fertilizantes basados en la orina están siendo investigadas (por ejemplo, la estruvita; véase tecnologías emergentes para el saneamiento).

En condiciones normales, y si proviene de personas saludables, la orina está virtualmente libre de patógenos. La orina, además, contiene la mayoría de los nutrientes que se excretan por el cuerpo. Su composición varía dependiendo de dieta, género, clima, ingesta de agua,

etcétera, pero casi 88% del nitrógeno, 61% del fósforo y 74% del potasio excretado del cuerpo está en la orina.

**Consideraciones de diseño** La orina almacenada no debe ser aplicada directamente a las plantas debido a su alto pH y forma concentrada. En su lugar, puede ser:

- 1) mezclada sin diluir en la tierra antes de sembrar;
- 2) vertida en los surcos, pero a una distancia alejada de las raíces de las plantas y cubierta inmediatamente (aunque esto sólo se lleva a cabo una o dos veces durante la estación de crecimiento), y
- 3) diluida varias veces para que pueda ser usada con frecuencia alrededor de las plantas (hasta dos veces por semana).

La tasa de aplicación óptima depende de la demanda de nitrógeno y de la tolerancia del cultivo en el que se usará, la concentración de nitrógeno del líquido, así como la tasa de pérdida de amoníaco durante la aplicación. Como regla general, se puede asumir que 1 m<sup>2</sup> de tierra de cultivo puede recibir 1.5 L de orina por estación de cultivo (cantidad que corresponde a la producción diaria de orina de una persona y de 40 a 110 kg N/ha). Por lo tanto, la orina de una persona durante un año es suficiente para fertilizar de 300 a 400 m<sup>2</sup> de tierras de cultivo.

Una mezcla con una proporción de 3:1 de agua y orina es una dilución efectiva para las hortalizas, aunque la cantidad correcta depende de la tierra y el tipo de hortalizas. Si la orina diluida se utiliza en un sistema de riego, se denomina “fertirrigación” (véase D.6). Durante la temporada de lluvias la orina puede ser aplicada directamente en pequeños agujeros cerca de las plantas; de esa forma se diluye naturalmente.

**Idoneidad** La orina es muy beneficiosa para los cultivos que carecen de nitrógeno. Algunos cultivos que crecen bien con orina son, entre otros: maíz, arroz, mijo, sorgo, trigo, acelga, nabo, zanahoria, col rizada, col, lechuga, banano, papaya y naranja. La aplicación de orina es ideal para zonas rurales y periurbanas donde las tierras agrícolas se ubican cerca del punto de recolección. Las viviendas pueden usar su propia orina en su parcela. Otra opción es que, si existen instalaciones e infraestructura, la orina puede ser recolectada en un lugar (semi)centralizado para su distribución y transporte a los campos agrícolas. Sin embargo, el aspecto más importante es que haya una necesidad de nutrientes del fertilizante para la agricultura que pueda ser suministrada por la orina almacenada. Cuando no hay esa necesidad, la orina puede convertirse en una molestia y en una fuente de contaminación.

**Aspectos de salud/aceptación** La orina plantea un riesgo mínimo de infección, sobre todo cuando se ha almacenado por un largo periodo. Sin embargo, tiene que manejarse con cuidado y no debe aplicarse a los cultivos antes de un mes de haber sido cosechados. Este periodo de espera es importante, en particular, para los cultivos que se consumen crudos (véase lineamientos de la OMS para más detalles). La aceptación social puede ser difícil. La orina almacenada tiene un olor fuerte; algunas personas podrían encontrar ofensivo trabajar con orina o tenerla cerca. El olor puede disminuir si la orina se diluye o se utiliza para cultivar de inmediato. El uso de orina puede ser menos aceptado en áreas urbanas o periurbanas (donde los huertos están cerca de las personas) que en áreas rurales (donde las viviendas y las tierras de cultivo se mantienen separadas).

**Operación y mantenimiento** Con el tiempo, algunos minerales en la orina se precipitarán (en especial los fosfatos de calcio y el magnesio). El equipo que se usa para recolectar, transportar o aplicar orina (esto es,

regaderas con orificios pequeños) puede obstruirse. La mayoría de los depósitos puede removerse con agua caliente y un poco de ácido (vinagre) o, en casos más extremos, manualmente.



### Pros y contras

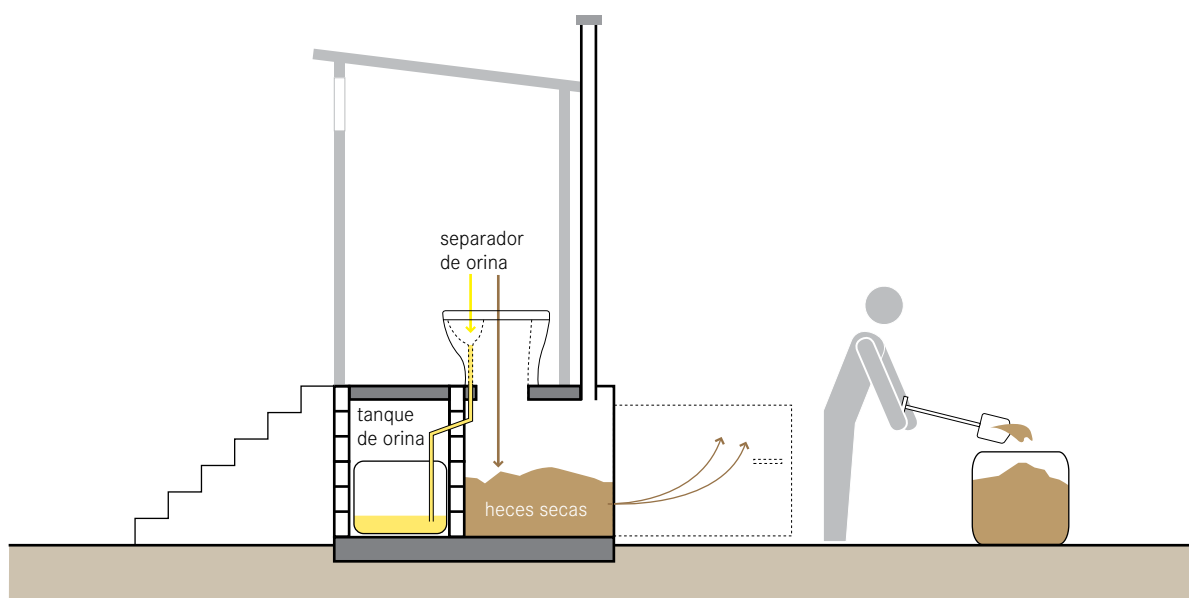
- + Puede fomentar la generación de ingresos (mejor rendimiento y productividad de las plantas).
- + Reduce la dependencia de fertilizantes químicos costosos.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- + Bajo costo.
- La orina es pesada y difícil de transportar.
- El olor puede ser ofensivo.
- Requiere mano de obra intensiva.
- Riesgo de salinización del suelo si la tierra es propensa a acumular sales.
- Poca aceptación social en algunas áreas.

### Referencias y lecturas adicionales

- Morgan, P. R. (2004), *An Ecological Approach to Sanitation in Africa. A Compilation of Experiences*, Aquamor, Harare, Zimbabue. Capítulo 10: “The Usefulness of Urine”. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolomo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Münch, E. von, y M. Winker (2011), *Technology Review of Urine Diversion Components. Overview of Urine Diversion Components Such as Waterless Urinals, Urine Diversion Toilets, Urine Storage and Reuse Systems*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Richert, A., R. Gensch, H. Jönsson, T. A. Stenström y L. Dagerskog (2010), *Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production*, EcoSanRes, Stockholm Environment Institute, Estocolomo, Suecia. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, World Health Organization, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int). (Riesgos para la salud y lineamientos recomendados para la aplicación de orina.)



<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Heces secas
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Cuando las heces se almacenan en ausencia de humedad (es decir, sin orina), se deshidratan y se convierten en un material o polvo desmenuzable, blancuzco, tosco y escamoso. La humedad natural presente en las heces se evapora o es absorbida por el material de secado que se les añade (por ejemplo, ceniza, aserrín, cal). Las heces secas se pueden usar como acondicionador del suelo.**

La deshidratación difiere del compostaje porque el material orgánico presente no se degrada ni se transforma; sólo pierde su humedad. Las heces reducirán su volumen cerca de 75% después de la deshidratación. Las heces totalmente secas son una sustancia que se desmenuza y se hace polvo. Las conchas y los cadáveres de gusanos e insectos en las heces también se deshidratan y se convierten en parte del material seco.

Este material es rico en carbono y nutrientes, pero aún puede contener quistes u ooquistes protozoarios (esporas que pueden sobrevivir a condiciones ambientales extremas y ser reanimadas en condiciones favorables), así como otros patógenos. El grado de inactivación patógena dependerá de la temperatura, el pH (el uso de ceniza o cal eleva el pH) y el tiempo de almacenamien-

to. Las heces suelen ser almacenadas de 6 a 24 meses, aunque todavía podrían contener patógenos transcurrido ese tiempo (véanse los lineamientos de la OMS). El material se puede mezclar en el suelo para la agricultura (dependiendo de la aceptación), mezclarse de forma segura con tierra o enterrarse en otra parte. Un mayor tiempo de almacenamiento es otra opción si no hay un uso inmediato para el material (véase D. 12).

**Consideraciones de diseño** Las heces que se secan y se mantienen entre 2 y 20 °C deben almacenarse de 1.5 a 2 años antes de ser usadas a en viviendas o en la región. En temperaturas más altas (esto es, con un promedio de > 20 °C) se recomienda más de un año de almacenamiento para inactivar los huevos de *Ascaris* (género de varias especies de gusanos parásitos o helmintos). Si las heces tienen un pH superior a 9 (agregar ceniza o cal aumenta el pH) bastará un tiempo de almacenamiento de unos seis meses. Deben consultarse previamente los lineamientos de la OMS con respecto al uso de excretas en la agricultura.

**Idoneidad** Las heces secas no son tan útiles como las heces de compostaje a la hora de acondicionar el suelo.

Sin embargo, pueden ayudar a reabastecer suelos pobres e impulsar sus propiedades de carbono y almacenamiento de agua, con poco riesgo de transmisión de patógenos.

**Aspectos de salud/aceptación** Algunas personas podrían negarse a manejar y usar heces secas. No obstante, dado que las heces deshidratadas están secas, desmenuzadas y libres de olores, su uso podría ser más fácil de aceptar que el estiércol o lodo fecal. Las heces secas son un ambiente hostil para los organismos, por lo que no sobreviven mucho tiempo en ellas. Sin embargo, si el agua o la orina se mezcla con las heces secas, los organismos y los malos olores pueden llegar a ser un problema, ya que las bacterias sobreviven fácilmente y se multiplican en las heces húmedas. Los ambientes cálidos y húmedos son propicios para los procesos anaerobios, que pueden generar olores ofensivos. Las heces deshidratadas no deben aplicarse a los cultivos menos de un mes antes de la cosecha. Este periodo de espera es muy importante para los cultivos que se consumen crudos.

**Operación y mantenimiento** Al remover las heces secas de la cámara de deshidratación se debe tener cuidado de no levantar polvo que pueda inhalarse. Los trabajadores deben usar equipo de protección adecuado. Las heces deben mantenerse lo más secas posible. Si por accidente llegaran a mezclarse con agua u orina, se deberá agregar más ceniza, cal o tierra seca para ayudarlas a absorber la humedad. La prevención es la mejor manera de mantener las heces secas.

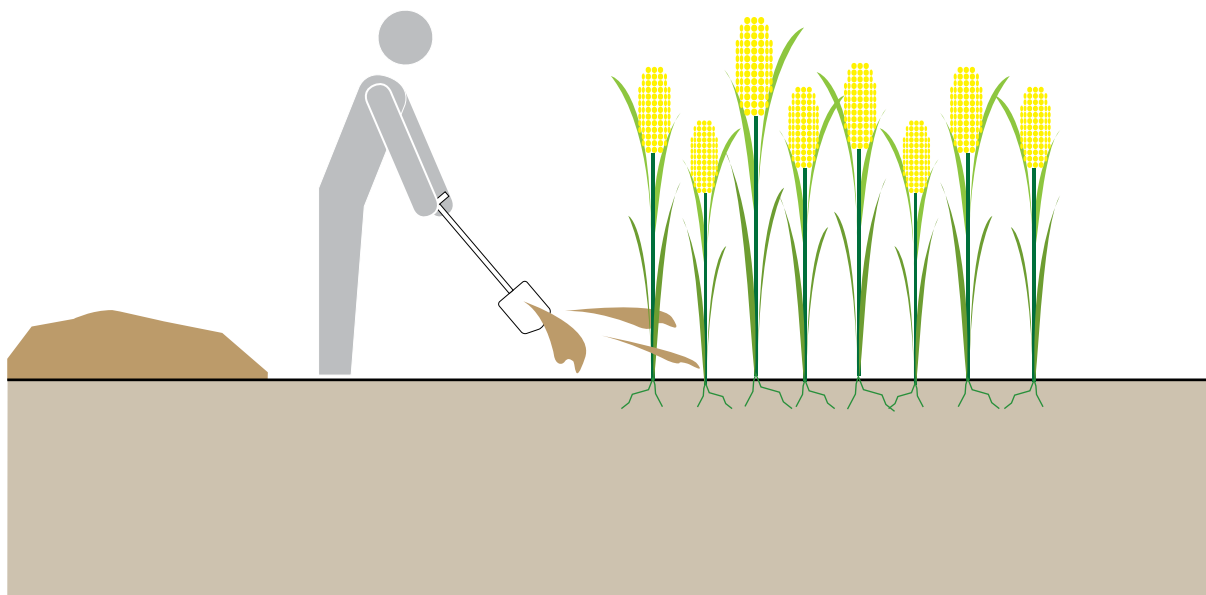
#### Pros y contras

- + Puede mejorar la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- + Bajo costo.
- Requiere mano de obra intensiva.
- Los patógenos pueden existir en un estado latente (quistes y ooquistes) y llegar a ser infecciosos si hubiera humedad.
- No sustituye a los fertilizantes (N, P, K).
- Poca aceptación social en algunas áreas.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Austin, A., y L. Duncker (2002), *Urine-Diversion. Ecological Sanitation Systems in South Africa*, CSIR, Pretoria, Sudáfrica.
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Rieck, C., E. von Münch y H. Hoffmann (2012), *Technology Review of Urine-Diverting Dry Toilets (UDDTs). Overview of Design, Operation, Management and Costs*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Schönning, C., y T. A. Stenström (2004), *Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems. Report 2004-1*, EcoSanRes, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Winblad, U., y M. Simpson-Hébert (eds.) (2004), *Ecological Sanitation. Revised and Enlarged Edition*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b> <input type="checkbox"/> Humus <input type="checkbox"/> Composta
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Biomasa
<input type="checkbox"/> Vecindario	<input type="checkbox"/> Compartido	
<input type="checkbox"/> Ciudad	<input type="checkbox"/> Público	



**La composta es una sustancia parecida a la tierra que resulta de un proceso controlado de degradación aerobia de materia orgánica. El humus es el término usado para describir el material removido de una tecnología de cámara doble (S. 4, S. 5 o S. 6) porque se produce de forma pasiva y bajo tierra, y tiene una composición ligeramente distinta a la composta. Ambos productos pueden ser utilizados como acondicionadores del suelo.**

El proceso de compostaje termófilo genera calor (de 50 a 80 °C) que mata a la mayoría de patógenos presente. El proceso de compostaje requiere carbono, nitrógeno, humedad y aire.

La cámara doble mejorada ventilada (S. 4), la fosa alterna (S. 5) y la cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico (S. 6) generan condiciones ambientales distintas para el compostaje de alta temperatura. En estas tecnologías casi no hay aumento de temperatura debido a que las condiciones en la cámara (oxígeno, humedad, relación C:N) no están optimizadas para que los procesos de compostaje se lleven a cabo. Debido a esto, el material es realmente no “composta” y se le llama “humus”. La textura y la calidad del humus depende de los

materiales que se añadan al excretas (por ejemplo, tierra añadida a una fosa alterna) y las condiciones almacenamiento.

Los lineamientos de la OMS sobre el uso de excretas en la agricultura estipulan que la composta debe alcanzar y mantener una temperatura de 50 °C al menos durante una semana antes de considerarlo seguro. Sin embargo, lograr este valor requiere un periodo significativamente más largo de compostaje. Para las tecnologías que generan humus se recomienda al menos un año de almacenamiento para eliminar patógenos bacterianos y reducir virus y protozoos parásitos. Se deben consultar los lineamientos de la OMS para obtener información detallada.

**Consideraciones de diseño** Se ha demostrado que la productividad de un suelo pobre puede mejorar al aplicar partes iguales de composta y tierra de buena calidad. El efluente de una fosa alterna debe alcanzar para dos lechos de 1.5 por 3.5 m.

**Idoneidad** La composta y el humus se pueden aprovechar para mejorar la calidad del suelo. Agregan nutrientes y orgánicos y mejoran la capacidad del

suelo para almacenar aire y agua. Se pueden mezclar en la tierra antes de plantar los cultivos, usarse en plántulas o plantas de interior o en combinación con una pila de composta existente para tratamiento adicional.

Los huertos con humus de una fosa alterna han mostrado significativas mejoras en comparación con los jardines plantados sin acondicionador del suelo. El uso del humus incluso ha hecho posible sembrar en áreas que antes no eran cultivables.

**Aspectos de salud/aceptación** Existe un pequeño riesgo de transmisión de patógenos; por eso, en caso de duda, cualquier material removido de la cámara puede compostarse en una pila normal antes de su uso, o mezclarse con más tierra en un “relleno y cubierta” (esto es, una cámara llena de nutrientes empleada para plantar un árbol). La composta y el humus no deben aplicarse a los cultivos antes de un mes de haber sido cosechados. Este periodo de espera es muy importante para los cultivos que se consumen crudos. A diferencia del lodo, que se puede originar de varias fuentes domésticas, químicas e industriales, la composta y el humus tienen muy pocos afluentes químicos. Las únicas fuentes químicas que podrían contaminar la composta o el humus son algunos materiales orgánicos contaminados (por ejemplo, pesticidas) o productos químicos excretados por los seres humanos (por ejemplo, residuos farmacéuticos). En comparación con los químicos que se pueden encontrar en las aguas residuales del lodo, la composta y el humus pueden considerarse menos contaminados.

La composta y el humus son productos inofensivos y similares a la tierra. Sin embargo, las personas podrían abstenerse de manipularlos y usarlos. Realizar demostraciones que promuevan el aprendizaje práctico puede mostrar con eficacia su naturaleza no ofensiva y los beneficios de usarlos.

**Operación y mantenimiento** Se debe permitir que el material madure de forma adecuada antes de ser removido del sistema. Luego puede ser usado sin tratamiento adicional. Los trabajadores deben usar ropa y equipo de protección apropiado.

#### Pros y contras



+ Puede mejorar la estructura y la capacidad

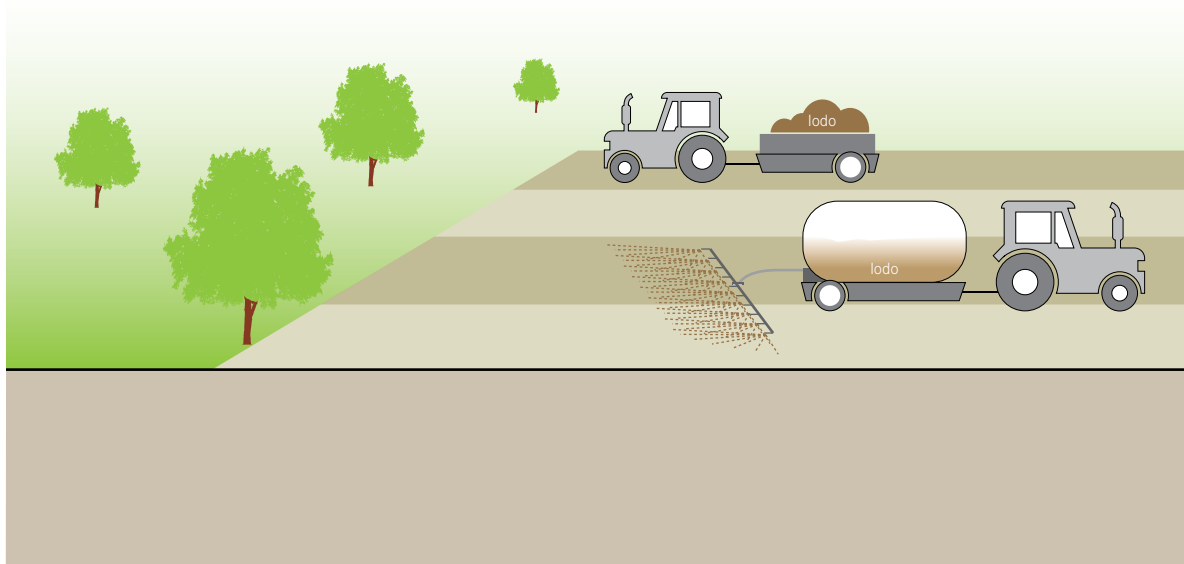
de retención de agua del suelo, así como reducir el uso de fertilizantes químicos.

- + Puede fomentar la generación de ingresos (mejorar el rendimiento y la productividad de las plantas).
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos.
- + Bajo costo.
- Puede requerir un año o más de maduración.
- Poca aceptación social en algunas áreas.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Jenkins, J. (2005), *The Humanure Handbook. A Guide to Composting Human Manure*, 3ª ed., Jenkins Publishing, Grove City, Pensilvania.
- Morgan, P. R. (2004), *An Ecological Approach to Sanitation in Africa. A Compilation of Experiences*, Aquamor, Harare, Zimbabue. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2007), *Toilets That Make Compost. Low-Cost, Sanitary Toilets That Produce Valuable Compost for Crops in an African Context*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia, pp. 81-90. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- Morgan, P. R. (2009), *Ecological Toilets. Start Simple and Upgrade from Arborloo to VIP*, Stockholm Environment Institute, Estocolmo, Suecia. Disponible en [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org).
- NWP (2006), *Smart Sanitation Solutions. Examples of Innovative, Low-Cost Technologies for Toilets, Collection, Transportation, Treatment and Use of Sanitation Products*, Netherlands Water Partnership, La Haya, Países Bajos. Disponible en [www.ircwash.org](http://www.ircwash.org).
- Porto, D. del, y C. Steinfeld (1999), *The Composting Toilet System Book. A Practical Guide to Choosing, Planning and Maintaining Composting Toilet Systems, an Alternative to Sewer and Septic Systems*, The Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Concord, Massachusetts.
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Lodo
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Dependiendo del tipo y la calidad del tratamiento, el lodo digerido o estabilizado puede aplicarse en suelos públicos o privados, en diseño de jardines o agricultura.**

El lodo que ha sido tratado (por ejemplo, compostado o removido de un lecho de secado con plantas) puede usarse en agricultura, cultivo de huertos caseros, silvicultura, cultivo de césped y pasto, diseño de jardines, parques, campos de golf, recuperación de minas, al igual que para cubrir la descarga o controlar la erosión. Aunque el lodo tiene niveles de nutrientes más bajos que los fertilizantes comerciales (menos nitrógeno, fósforo y potasio), puede reemplazar una parte importante de la necesidad de fertilizante. Además, el lodo tratado tiene características superiores a las de algunos fertilizantes, como mejor volumen y retención de agua, y liberación lenta y constante de nutrientes.

**Consideraciones de diseño** Los sólidos se propagan en la superficie del suelo usando dispersores convencionales de estiércol, camiones cisterna o vehículos especialmente diseñados. El lodo líquido (por ejemplo, de reactores anaerobios) puede rociarse o inyectarse en el suelo.

Las tasas de aplicación y el uso de lodo deben tener en cuenta la presencia de patógenos y contaminantes, así como la cantidad de nutrientes disponibles para que se use en una proporción agronómica y sostenible.

**Idoneidad** Aunque el lodo a veces es criticado por contener altos niveles de metales o contaminantes, los fertilizantes comerciales también contaminan –posiblemente con cadmio u otros metales pesados–. Los lodos fecales de letrinas de cámara no deben tener ningún afluente químico y, por lo tanto, no presentan un alto riesgo de contaminación por metales pesados. Es más probable que el lodo que se origina en las plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala se contamine al recibir químicos industriales y domésticos, y escorrentía superficial, que puede contener hidrocarburos y metales. Dependiendo de la fuente, el lodo puede ser un surtidor valioso, y muy necesario, de nutrientes. La aplicación de lodo en el suelo puede ser menos costosa que su disposición final.

**Aspectos de salud/aceptación** La mayor barrera para el uso de lodo es, generalmente, su aceptación. Sin embargo, aun cuando el lodo no sea aceptado para la agricultura o la industria local, puede ser útil en pro-

yectos municipales donde podría proporcionar ahorros significativos (por ejemplo, recuperación de minas). Dependiendo de la fuente y el método de tratamiento, el lodo puede ser tratado hasta un nivel que sea seguro y no genere malos olores o problemas con vectores. Es importante seguir las normas de seguridad y aplicación. Deben consultarse los lineamientos de la OMS sobre el uso de excretas en la agricultura para obtener información detallada.











**Operación y mantenimiento** Se debe mantener el equipo de dispersión en buenas condiciones para garantizar su uso continuo. Debe monitorearse la cantidad y la tasa de aplicación del lodo para evitar sobrecargas y, por ende, una posible contaminación por nutrientes. Los trabajadores deben usar ropa y equipo protector apropiado.

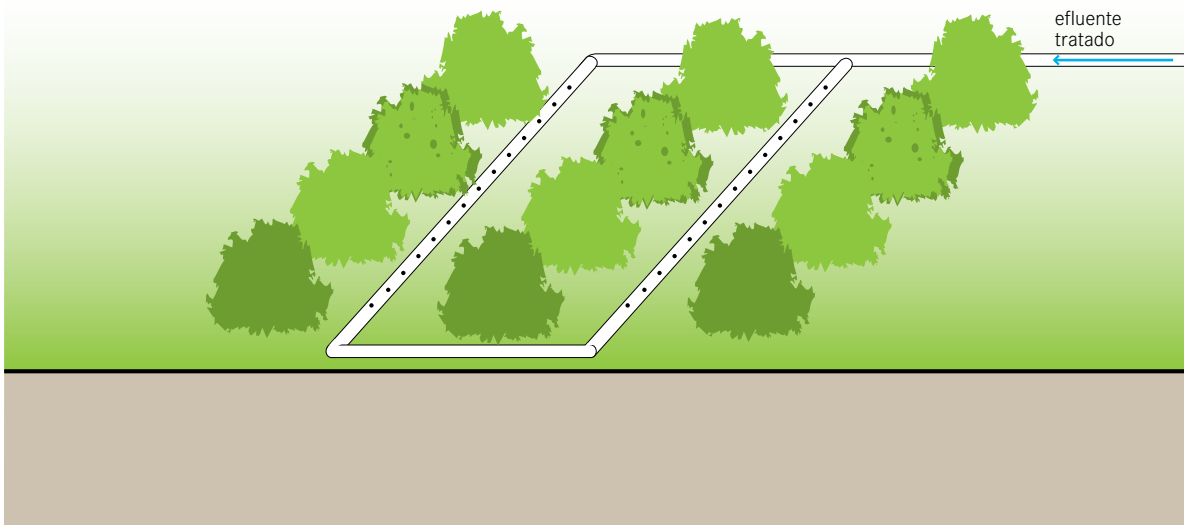
#### Pros y contras

- + Puede reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar la capacidad de retención de agua del suelo.
- + Puede acelerar la reforestación.
- + Puede reducir la erosión.
- + Bajo costo.
- Los malos olores pueden ser fuertes, dependiendo del tratamiento anterior.
- Puede requerir equipo de dispersión especial.
- Puede suponer riesgos para la salud pública, dependiendo de su calidad y aplicación.
- Los microcontaminantes pueden acumularse en el suelo y contaminar los acuíferos.
- Poca aceptación social en algunas áreas.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)
- U. S. EPA (1999), *Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. EPA-530/R-99-009*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- U. S. EPA (1994), *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA832-R-93-003*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Efluente  Aguas pluviales (+  Orina almacenada)
 Vivienda	 Vivienda	<b>Salidas:</b>  Biomasa
 Vecindario	 Compartido	
 Ciudad	 Público	



**Para reducir el consumo de agua potable y mantener una fuente constante de agua para riego durante todo el año, se pueden usar aguas residuales en la agricultura. Sin embargo, sólo debe usarse el agua que ha pasado por un tratamiento secundario (esto es, tratamiento físico y biológico) con el fin de limitar los riesgos de contaminación de los cultivos y para la salud de los trabajadores.**

Existen dos tecnologías de riego apropiadas para aguas residuales tratadas:

- 1) riego por goteo, sobre o bajo tierra, en el cual el agua gotea lentamente sobre o cerca del área radicular, y
- 2) riego por superficie, en el cual el agua se enruta sobre el suelo en una serie de canales o surcos excavados.

Para minimizar la evaporación y el contacto con patógenos se debe evitar el riego por aspersión.

Las aguas residuales adecuadamente tratadas pueden reducir de manera significativa el consumo de agua dulce o potable, y/o mejorar los rendimientos de los cultivos al suministrar más nutrientes y agua a las plantas. No se deben usar aguas residuales crudas o aguas ne-

gras sin tratamiento; incluso el agua con tratamiento debe emplearse con precaución. El uso constante de agua que no ha sido tratada de manera adecuada puede dañar la estructura del suelo y su capacidad para retener agua a largo plazo.

**Consideraciones de diseño** La tasa de aplicación debe ser apropiada para el suelo, el cultivo y el clima; de lo contrario, podría ser perjudicial. Para aumentar el valor de nutrientes, la orina puede dosificarse en el agua de riego; esto se denomina “fertirrigación” (esto es, fertilización + riego). La relación de dilución tiene que adaptarse a las necesidades especiales y a la resistencia del cultivo. En los sistemas de riego por goteo se debe garantizar que haya suficiente altura de caída (esto es, presión de agua) y un buen mantenimiento para reducir posibles obstrucciones (sobre todo con la orina, de la cual la estruvita se precipitará espontáneamente).

**Idoneidad** Generalmente, el riego por goteo es el método más apropiado; en especial para zonas áridas y propensas a la sequía. El riego por superficie suele tener grandes pérdidas de agua por evaporación, pero requiere poca o ninguna infraestructura, y puede ser

apropiado en algunas situaciones. Los cultivos como maíz, alfalfa (y otros piensos), fibras (por ejemplo, algodón), árboles maderables, tabaco, árboles frutales (por ejemplo, mango) y alimentos que requieren procesamiento (por ejemplo, remolacha azucarera) pueden cultivarse de forma segura con efluentes tratados. Se debe tener más cuidado con frutas y verduras que se consumen crudas (por ejemplo, tomates), ya que podrían entrar en contacto con el agua. Los cultivos energéticos como eucaliptos, álamos, sauces o fresnos pueden cultivarse en rotación corta y ser cosechados para la producción de biocarburantes. En vista de que estos árboles no son para consumo, ésta es una manera segura y eficiente de usar un efluente de baja calidad.

La calidad del suelo puede degradarse con el tiempo (por ejemplo, debido a la acumulación de sales) si se aplican aguas residuales mal tratadas. A pesar de las preocupaciones de seguridad, el riego con efluente es una forma eficaz de reciclar los nutrientes y el agua.

**Aspectos de salud/aceptación** El tratamiento apropiado (esto es, reducción de patógenos adecuada) debe preceder a cualquier plan de riego para limitar los riesgos para la salud de quienes entren en contacto con el agua. Aun después del tratamiento el agua puede estar contaminada con productos químicos que se descarguen en el sistema, dependiendo del nivel de tratamiento que haya tenido el efluente. Cuando el efluente se usa para riego, las viviendas y las industrias conectadas al sistema deben saber bien cuáles productos son o no apropiados para descargar en el sistema. El riego por goteo es el único tipo de riego que se debe usar con cultivos comestibles y, aun así, se debe evitar que los trabajadores y las cosechas entren en contacto con el efluente tratado. Los lineamientos de la OMS sobre el uso de aguas residuales en acuicultura deben consultarse para obtener información detallada y orientación específica.

**Operación y mantenimiento** Los sistemas de riego por goteo deben ser arrastrados periódicamente para evitar el crecimiento de biopelícula y la obstrucción por sólidos. Las tuberías deben revisarse para detectar fugas, ya que son propensas a daños por roedores y humanos. El riego por goteo es más costoso que el riego convencional, pero ofrece mejor rendimiento y disminuye los costos de agua/operación. Los trabajadores deben usar ropa y equipo de protección apropiado.

### Pros y contras

+ Reduce el agotamiento de acuíferos y mejora la disponibilidad de agua potable.

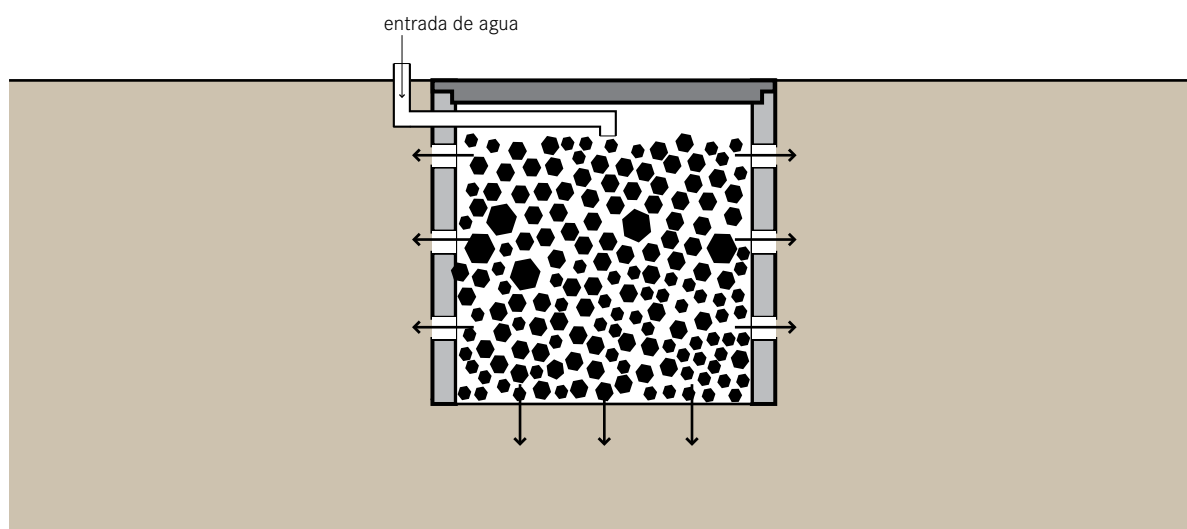
- + Reduce la necesidad de fertilizante.
- + Posibilidad de creación de empleos y generación de ingresos en el ámbito local.
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos si se trata el agua correctamente.
- + Bajos costos de capital y operación, según el diseño.
- Puede requerir diseño e instalación por parte de expertos.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.
- Es muy propenso a obstrucciones (esto es, el agua debe estar libre de sólidos suspendidos).
- Riesgo de salinización si el suelo es propenso a la acumulación de sales.
- Poca aceptación social en algunas áreas.

### Referencias y lecturas adicionales

- Drechsel, P., C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood y A. Bahri (eds.) (2010), *Wastewater Irrigation and Health. Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*, Earthscan, IDRC e IWMI, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.idrc.ca](http://www.idrc.ca) y [www.iwmi.cgiar.org](http://www.iwmi.cgiar.org).
- FAO (2012), *On-Farm Practices for the Safe Use of Wastewater in Urban and Peri-Urban Horticulture. A Training Handbook for Farmer Field Schools*, FAO, Roma, Italia. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int). (Discusión de los aspectos de salud del uso de aguas residuales y prácticas adecuadas de riego en el anexo 1.)
- Palada, M., S. Bhattarai, D. Wu, M. Roberts, M. Bhattarai, R. Kimsan y D. Midmore (2011), *More Crop Per Drop. Using Simple Drip Irrigation Systems for Small-Scale Vegetable Production*, The World Vegetable Center, Shanhua, Taiwán. Disponible en [www.avrdc.org](http://www.avrdc.org).
- Pescod, M. B. (1992), *Wastewater Treatment and Use in Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47*, FAO, Roma, Italia. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Winpenny, J., I. Heinz y S. Koo-Oshima (2010), *The Wealth of Waste. The Economics of Wastewater Use in Agriculture. FAO Water Reports 35*, FAO, Roma, Italia. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Zandee, M. (2012), *Risk of Clogging of Drip-Line Emitters during Urine Fertilization through Drip Irrigation Equipment*, Eawag, Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.eawag.ch/stun](http://www.eawag.ch/stun).



Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Compartido <input type="checkbox"/> Público	<input checked="" type="checkbox"/> Efluente <input type="checkbox"/> Aguas grises <input type="checkbox"/> Orina <input type="checkbox"/> Orina almacenada <input type="checkbox"/> Agua de limpieza anal



Un pozo de absorción, también conocido como sumidero o pozo de filtrado, es una cámara cubierta y con paredes porosas que permite que el agua penetre lentamente en el suelo. El efluente sedimentado de una tecnología con sistema de recolección y almacenamiento/tratamiento o tratamiento (semi)centralizado es descargado en la cámara subterránea, desde la cual se infiltra en el suelo que lo rodea.

Conforme las aguas residuales (aguas grises o aguas negras después del tratamiento primario) se filtran a través del suelo del pozo de absorción, las partículas pequeñas son filtradas por la matriz de tierra, y el material orgánico es digerido por microorganismos. Por ende, el pozo de absorción es el más adecuado para suelos con buenas propiedades de absorción; el suelo con barro, muy compacto o rocoso, no es apropiado.

**Consideraciones de diseño** El pozo de absorción debe tener de 1.5 a 4 m de profundidad; como regla general, nunca debe estar a menos de 2 m de la capa freática. Tiene que estar situado a una distancia segura de las fuentes de agua potable (al menos 30 m). El pozo de absorción debe mantenerse alejado de zonas de alto

tráfico para que la tierra encima y alrededor del pozo no se compacte. Se puede dejar vacío y revestido con algún material poroso, para prevenir que se derrumbe, o sin revestimiento, pero lleno de rocas y grava. Las rocas y la grava evitarán que las paredes se derrumben, pero seguirán proporcionando el espacio adecuado para las aguas residuales. En ambos casos se debe esparcir una capa de arena y grava fina en el fondo para ayudar a dispersar el flujo. Con el fin de poder abrirlo en el futuro, se tiene que utilizar una tapa extraíble (preferiblemente de concreto) para sellar la cámara hasta que requiera mantenimiento.

**Idoneidad** Un pozo de absorción no proporciona tratamiento adecuado para aguas residuales crudas, ya que se obstruirá rápidamente. Debe usarse para descargar aguas negras o grises previamente asentadas. Los pozos de absorción son apropiados para comunidades rurales y periurbanas. Dependen de suelos con suficiente capacidad de absorción. No son apropiados para áreas propensas a inundaciones o con capas freáticas altas.

**Aspectos de salud/aceptación** Las preocupaciones para la salud son mínimas siempre y cuando el pozo

de absorción no se use para aguas residuales sin tratar, y mientras la anterior tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento funcione bien. La tecnología se encuentra bajo tierra y, por lo tanto, los humanos y los animales no deben tener contacto con el efluente. Dado que el pozo de absorción es inodoro y no está a la vista debería ser aceptado incluso por las comunidades más sensibles.

**Operación y mantenimiento** Un pozo de absorción tendría durar de 3 a 5 años sin mantenimiento. Para alargar su vida útil se debe garantizar que el efluente haya sido clarificado o filtrado para evitar la acumulación excesiva de sólidos.

Eventualmente, las partículas y la biomasa obstruirán el pozo y será necesario limpiarlo o moverlo. Cuando el funcionamiento del pozo de absorción se deteriora, el material dentro del pozo puede excavar y éste puede ser rellenado.

#### **Pros y contras**

- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente.
- + Técnica sencilla de aplicar para cualquier usuario.
- + Requiere terreno pequeño.
- + Bajos costos de capital y operación.
- Requiere tratamiento primario para evitar obstrucciones.
- Puede perjudicar las propiedades del suelo y de los acuíferos.

#### **Referencias y lecturas adicionales**

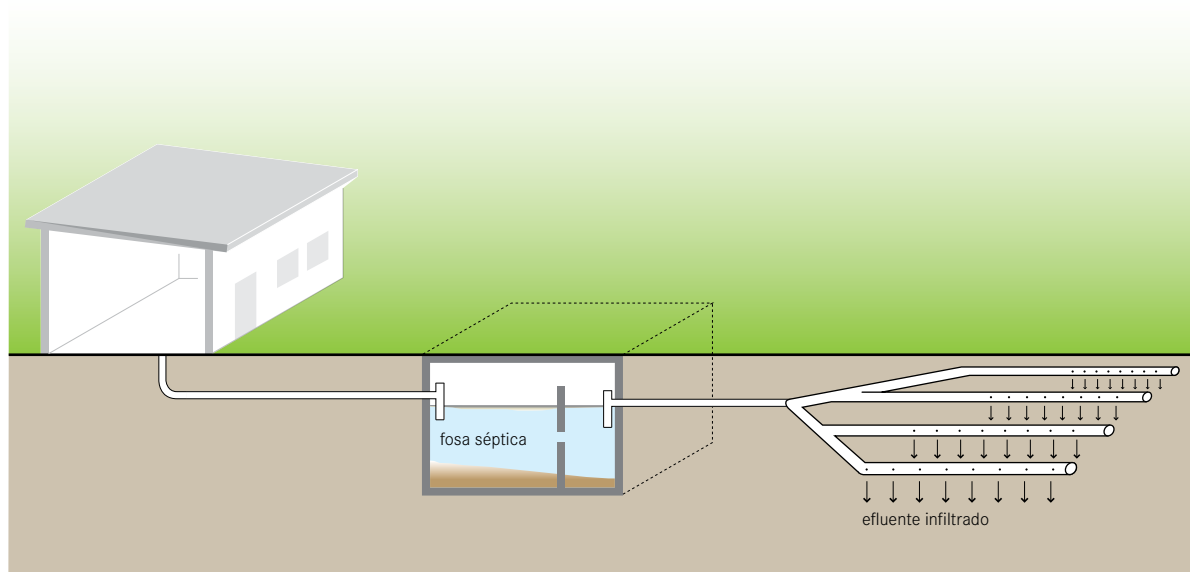
- \_ Ahrens, B. (2005), *A Comparison of Wash Area and Soak Pit Construction: The Changing Nature of Urban, Rural, and Peri-Urban Linkages in Sikasso*, Mali, Peace Corps. Disponible en [www.mtu.edu/peacecorps/programs/civil/theses](http://www.mtu.edu/peacecorps/programs/civil/theses).  
(Instrucciones detalladas de construcción.)
- \_ Mara, D. D. (1996), *Low-Cost Urban Sanitation*, Wiley, Chichester, Reino Unido, pp. 63-65.  
(Cálculos de dimensiones.)
- \_ Oxfam (2008), *Septic Tank Guidelines*, Technical Brief, Oxfam, Gran Bretaña, y Oxford, Reino Unido, p. 4. Disponible en [policy-practice.oxfam.org.uk](http://policy-practice.oxfam.org.uk).
- \_ Polprasert, C., y V. S. Rajput (1982), *Environmental Sanitation Reviews. Septic Tank and Septic Systems*, Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, Tailandia, pp. 31-58.

**Nivel de aplicación:**

- Vivienda  
 Vecindario  
 Ciudad

**Nivel de manejo:**

- Vivienda  
 Compartido  
 Público

**Entradas:**  Efluente

**Un lecho de infiltración o de drenaje es una red de tuberías perforadas que yacen en zanjas subterráneas llenas de grava, con el fin de disipar el efluente de una tecnología a base de agua con sistema de tratamiento (semi)centralizado o de recolección y almacenamiento/tratamiento.**

El efluente ya asentado se alimenta en un sistema de tuberías (caja de distribución y varios canales paralelos) que distribuye el flujo en el suelo subsuperficial para su absorción y posterior tratamiento. Se puede instalar un sistema de dosificación o de distribución presurizada para garantizar el uso de toda la longitud del lecho de infiltración y la recuperación de las condiciones aeróbicas entre dosificaciones. Este sistema de dosificación libera el efluente presurizado en el lecho de infiltración con un temporizador (usualmente de 3 a 4 veces al día).

**Consideraciones de diseño** Cada zanja debe medir de 0.3 a 1.5 m de profundidad y de 0.3 a 1 m de ancho. Su fondo se rellena con unos 15 cm de roca limpia y se pone un tubo de distribución perforado encima. Luego, se coloca más roca para cubrir la tubería. Encima de la capa de rocas se pone tela geotextil, para

evitar que las partículas pequeñas obstruyan el tubo. Se agrega una capa final de arena o tierra para cubrir la tela y se llena la zanja hasta el nivel del suelo. El tubo debe colocarse por lo menos a 15 cm de la superficie para evitar que el efluente salga. Las zanjas deben medir menos de 20 m de largo y estar de 1 a 2 m una de la otra. Para evitar la contaminación, el lecho de infiltración debe estar a más de 30 m de distancia de cualquier fuente de agua potable.

Al establecer un lecho de infiltración, debe considerarse que no interfiera con ninguna conexión futura de alcantarillado. La tecnología de recolección que precede al lecho de infiltración (por ejemplo, fosa séptica, S. 9) debe estar equipada con una conexión al alcantarillado de modo que si (o cuando) el lecho de infiltración necesita ser sustituido, el cambio se pueda hacer con una interrupción mínima.

**Idoneidad** Los lechos de infiltración requieren un terreno grande y de suelo no saturado con buena capacidad de absorción para disipar eficazmente el efluente. Debido a la posible sobresaturación del suelo, los lechos de infiltración no son apropiados en zonas urbanas densas. Pueden ser usados en casi todas las temperaturas,

aunque puede haber problemas con la centralización del efluente en áreas donde el suelo se congela.

Los propietarios que tengan un lecho de infiltración deben conocer bien cómo funciona y sus responsabilidades de mantenimiento. Los árboles y las plantas de raíces profundas tienen que mantenerse lejos del lecho de infiltración, ya que pueden agrietar y perturbar el lecho.

**Aspectos de salud/aceptación** Puesto que la tecnología es subterránea y requiere poca atención, los usuarios rara vez entran en contacto con el efluente y, por lo tanto, no presenta riesgos para la salud. El lecho de infiltración debe mantenerse lo más lejos posible (al menos 30 m) de cualquier fuente de agua potable para evitar la contaminación.



**Operación y mantenimiento** Un lecho de infiltración se obstruirá con el tiempo, aunque esto puede tardar 20 años o más si se le da buen mantenimiento y si la tecnología de tratamiento primario es adecuada. En la práctica, un lecho de infiltración debería requerir un mantenimiento mínimo; sin embargo, si el sistema deja de funcionar con eficiencia, se recomienda limpiar, remover o sustituir las tuberías. Para mantener el lecho de infiltración, no debe haber plantas o árboles en él. Tampoco debe haber tráfico pesado encima, ya que esto podría aplastar las tuberías o compactar el suelo.

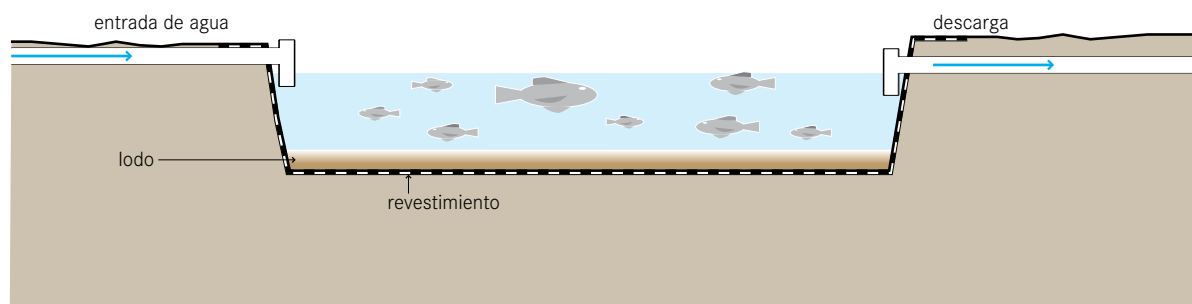
### Pros y contras

- + Se puede usar para tratamiento combinado y disposición final del efluente.
- + Tiene una larga vida útil (dependiendo de las condiciones).
- + Los requisitos para su mantenimiento son pocos si opera sin equipo mecánico.
- + Costo de inversión relativamente bajo; bajos costos de operación.
- Requiere diseño y construcción por parte de expertos.
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.
- Requiere un terreno grande.
- Requiere tratamiento primario para evitar obstrucciones.
- Puede perjudicar las propiedades del suelo y de los acuíferos.

### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 905-927.
- Morel, A., y S. Diener, (2006), *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Polprasert, C., y V. S. Rajput (1982), *Environmental Sanitation Reviews: Septic Tank and Septic Systems*, Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, Tailandia.
- U. S. EPA (1980), *Design Manual. Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems. EPA 625/1-80-012*, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Efluente
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Los peces pueden cultivarse en lagunas que reciben efluentes o lodos, donde puedan alimentarse de algas y otros organismos que crecen en un agua rica en nutrientes. Los peces, por lo tanto, remueven los nutrientes de las aguas residuales y son cosechados para su consumo.**

Existen tres clases de diseños de acuicultura para el cultivo de peces:

- 1) fertilización de laguna de acuicultura con efluente,
- 2) fertilización de laguna de acuicultura con excretas/lodo, y
- 3) cultivo de peces directamente en laguna aerobios (T.5 o T.6).

Los peces introducidos en laguna aerobia pueden reducir eficazmente las algas y ayudar a controlar la población de mosquitos. Es posible combinar plantas flotantes (D. 10) y peces en una sola laguna. Los peces por sí solos no mejoran mucho la calidad del agua, pero, debido a su valor económico, pueden compensar los costos de operar una planta de tratamiento. En condiciones ideales de funcionamiento, se pueden cultivar hasta 10 000 kg/ha de peces. Si los peces no son aceptables para el consumo humano, pueden ser una valiosa fuente

de proteína para otros carnívoros de alto valor (como el camarón), o convertirse en harina de pescado para cerdos y pollos.

**Consideraciones de diseño** El diseño debe basarse en la cantidad de nutrientes por remover, los nutrientes requeridos por los peces y los requisitos del agua para garantizar condiciones de vida saludables (por ejemplo, bajos niveles de amonio, temperatura requerida del agua, etcétera). Cuando se introducen nutrientes en forma de efluente o lodo es importante limitar las adiciones para mantener las condiciones aeróbicas. La DBO no debe exceder 1 g/m<sup>2</sup>/d y el oxígeno debe ser mayor que 4 mg/L.

Sólo se deben seleccionar peces tolerantes a bajos niveles de oxígeno disuelto, enfermedades y condiciones ambientales adversas. No deben ser carnívoros. Algunas variedades de carpas, chanos y tilapias se han usado con éxito, pero la selección específica dependerá de la preferencia local y de la idoneidad.

**Idoneidad** Una laguna de acuicultura sólo es apropiada donde hay un terreno lo suficientemente grande (o una laguna preexistente), una fuente de agua dulce y un

clima adecuado. El agua utilizada para diluir los desperdicios no debe estar demasiado tibia, y los niveles de amonio tienen que mantenerse bajos o casi nulos debido a su toxicidad para los peces.

Esta tecnología es apropiada para climas cálidos o tropicales sin temperaturas de congelación; preferiblemente, con altas precipitaciones y evaporación mínima.

**Aspectos de salud/aceptación** Esta tecnología se puede usar cuando no hay otra fuente de proteína de fácil acceso. La calidad y la condición de los peces influirán en la aceptación local. Puede haber preocupación por la contaminación de los peces, sobre todo cuando se cultivan, limpian y preparan. Si se cocinan bien, deben ser seguros, pero es recomendable trasladar el pescado a una laguna de agua clara durante varias semanas antes de su consumo. Los lineamientos de la OMS sobre el uso de aguas residuales y las excretas en la acuicultura deben consultarse para obtener información detallada y orientación específica.

**Operación y mantenimiento** Los peces necesitan cultivarse cuando alcanzan una edad o un tamaño apropiados. A veces, después del cultivo, se debe drenar la laguna para a) desenlodarlo y b) dejarlo secar en el sol de 1 a 2 semanas para destruir cualquier patógeno que viva en el fondo o en los costados de la laguna. Los trabajadores deben usar ropa protectora apropiada.



### Pros y contras

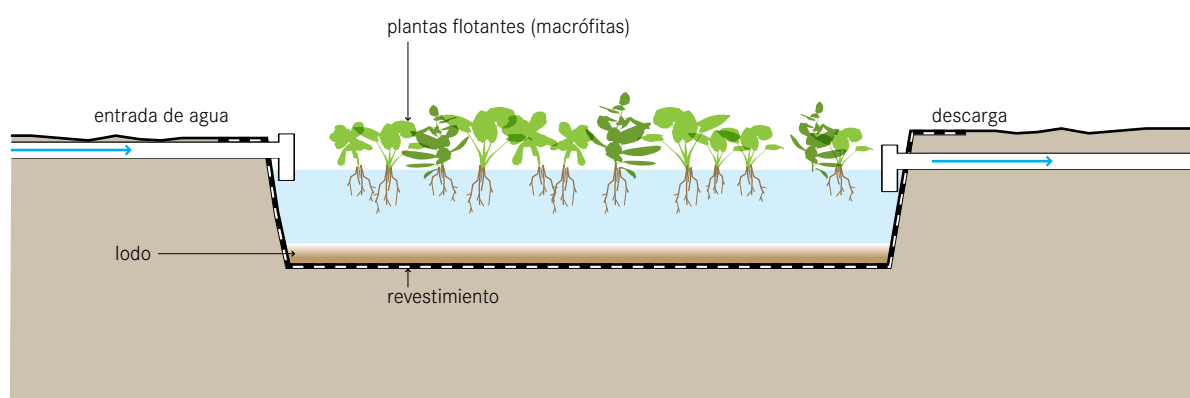
- + Puede proporcionar una fuente barata y localmente disponible de proteína.
- + Posibilidad de creación de empleos y generación de ingresos en el ámbito local.
- + Costo de inversión relativamente bajo; los costos de operación deben compensarse con los ingresos por la producción.
- + Puede ser construido y mantenido con materiales disponibles localmente.
- Requiere mucha agua dulce.
- Necesita un terreno grande (laguna).
- Puede requerir diseño e instalación por parte de expertos.

- El pescado puede presentar un riesgo para la salud si se prepara o se cocina incorrectamente.
- La aceptación social puede ser baja en algunas áreas.

### Referencias y lecturas adicionales

- Cross, P., y M. Strauss (1985), *Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture*, International Reference Centre for Waste Disposal, Dübendorf, Suiza.
- Edwards, P., y R. S. V. Pullin (eds.) (1990), *Wastewater-Fed Aquaculture. Proceedings: International Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture*, Calcuta, India. (Compilación de documentos por temas.)
- Iqbal, S. (1999), *Duckweed Aquaculture. Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Johnson Cointreau, S. (1987), *Aquaculture with Treated Wastewater: A Status Report on Studies Conducted in Lima, Peru. Technical Note No. 3*, Integrated Resource Recovery Project, Banco Mundial, Washington, D. C. Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home).
- Joint FAO/NACA/WHO Study Group (1999), *Food Safety Issues Associated with Products from Aquaculture. WHO Technical Report Series 883*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Mara, D. D. (2003), *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*, Earthscan, Londres, Reino Unido, pp. 253-261.
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- Rose, G. D. (1999), *Community-Based Technologies for Domestic Wastewater Treatment and Reuse: Options for Urban Agriculture*, International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canadá. Disponible en [www.sswm.info/library](http://www.sswm.info/library).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Efluente
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	<b>Salidas:</b>  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



**Una laguna de plantas flotantes es una laguna de maduración modificada con plantas flotantes (macrófitas). Algunas plantas, como los jacintos o las lentejas de agua, flotan en la superficie mientras sus raíces cuelgan bajo la superficie para adquirir nutrientes y filtrar el agua que fluye cerca.**

Los jacintos de agua son macrófitas perennes y de agua dulce que crecen muy rápido en aguas residuales. Pueden medir de 0.5 a 1.2 m. Sus largas raíces proporcionan un medio fijo para las bacterias que, a su vez, degradan los orgánicos que pasan en el agua.

La lenteja de agua es una planta alta en proteína y de rápido crecimiento que puede usarse fresca o seca como alimento para peces o aves. Es tolerante a muchas condiciones y puede eliminar cantidades significativas de nutrientes de las aguas residuales.

**Consideraciones de diseño** Las plantas apropiadas para la laguna pueden ser seleccionadas en función de su disponibilidad y las características de las aguas residuales.

Para proporcionar oxígeno adicional a una tecnología con plantas flotantes el agua se puede airear mecánica-

mente, pero el costo aumenta por la demanda de energía y maquinaria. Las lagunas de aireación pueden soportar cargas mayores y se pueden construir con menos huellas. Las lagunas sin aireación no deben ser demasiado profundas; de lo contrario, no habrá contacto suficiente entre las raíces que albergan las bacterias y las aguas residuales.

**Idoneidad** Una laguna de plantas flotantes sólo se sugiere cuando hay un terreno lo suficientemente grande (o una laguna preexistente). Es apropiada para climas cálidos o tropicales sin temperaturas de congelación; preferiblemente, con altas precipitaciones y evaporación mínima. La tecnología puede alcanzar altas tasas de remoción de sólidos suspendidos y de DBO, aunque la eliminación de patógenos no es sustancial.

Los jacintos cosechados se pueden usar como fuente de fibra para cuerdas, textiles, canastos, etcétera. Dependiendo de los ingresos que se generen, la tecnología podría cubrir los costos. La lenteja se puede utilizar como única fuente de alimento para algunos peces herbívoros.

**Aspectos de salud/aceptación** El jacinto de agua tiene flores atractivas color lavanda. Un sistema bien

diseñado y mantenido puede agregar valor e interés a tierras que, de otra manera, serían estériles.

Se debe usar una adecuada señalización y cercas para evitar que las personas y los animales entren en contacto con el agua. Los trabajadores deben utilizar ropa y equipo de protección apropiado. Se deben consultar los lineamientos de la OMS sobre el uso de aguas residuales y excretas en la acuicultura para obtener información detallada y orientación específica.

**Operación y mantenimiento** Las plantas flotantes requieren ser cosechadas constantemente. La biomasa puede usarse para pequeñas empresas artesanales o compostarse. Se pueden generar algunos problemas con mosquitos cuando las plantas no se cosechan con regularidad. Dependiendo de la cantidad de sólidos que entran en la laguna, debe ser desmenuado de vez en cuando. Se requiere que personal entrenado maneje su operación y provea mantenimiento.

#### Pros y contras

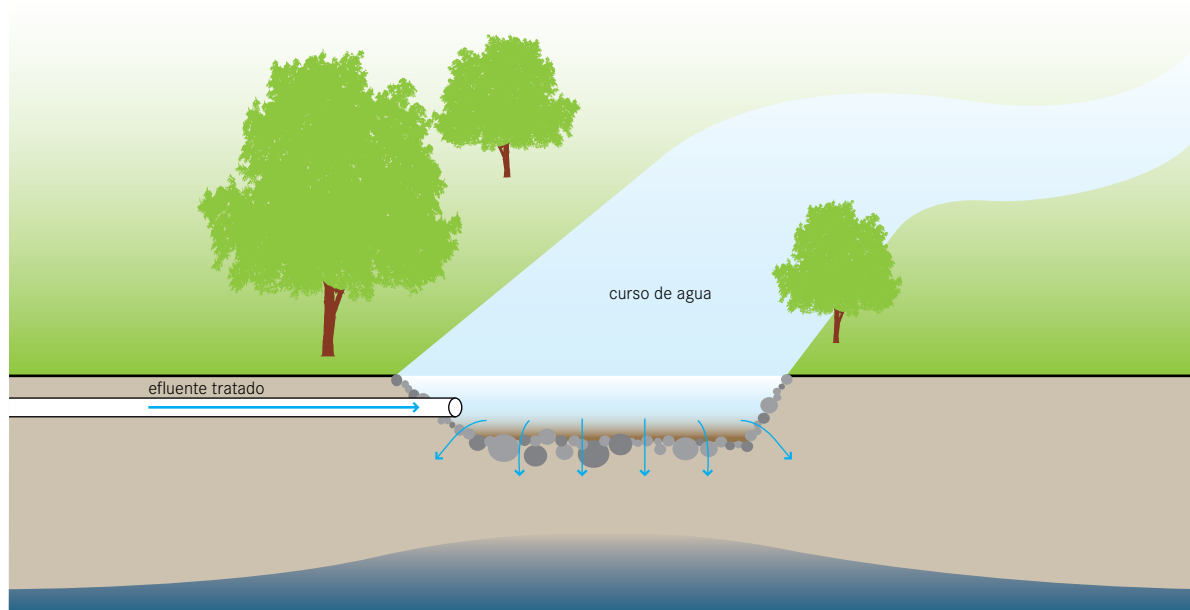
- + El jacinto de agua crece rápidamente y es atractivo.
- + Potencial para la creación de empleos y la generación de ingresos en el ámbito local.
- + Costo de inversión relativamente bajo; los costos de operación pueden ser compensados por los ingresos.
- + Alta reducción de sólidos y DBO; poca reducción de patógenos.
- + Puede ser construida y mantenida con materiales disponibles localmente.
- Requiere un terreno grande (o laguna).
- Algunas plantas pueden convertirse en especies invasoras si se liberan en ambientes naturales.

#### Referencias y lecturas adicionales

- Crites, R., y G. Tchobanoglous (1998), *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/McGraw-Hill, Nueva York, pp. 609-627.  
(Capítulo de resumen que incluye problemas solucionados.)
- Iqbal, S. (1999), *Duckweed Aquaculture. Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza.  
Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- McDonald, R. D., y B. C. Wolverton, (1980), "Comparative Study of Wastewater Lagoon with and without Water Hyacinth", *Economic Botany* 34 (2): 101-110.
- Reddy, K. R., y W. H. Smith (eds.) (1987), *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Publishing Inc., Orlando, Florida.
- Skillicorn, P., W. Spira y W. Journey (1993), *Duckweed Aquaculture. A New Aquatic Farming System for Developing Countries*, Banco Mundial, Washington, D. C.  
Disponible en [documents.worldbank.org/curated/en/home](http://documents.worldbank.org/curated/en/home).  
(Manual muy completo.)
- U. S. EPA (1988), *Design Manual. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Water Treatment*. EPA/625/1-88/022, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.  
Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.  
Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).



Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:
(★★) Vivienda (★★) Vecindario (★★) Ciudad	(★★) Vivienda (★★) Compartido (★★) Público	Efluente    Aguas pluviales



**El efluente y/o las aguas pluviales tratadas pueden descargarse directamente en cuerpos de agua receptores (como ríos, lagos, etcétera), o en el suelo, para recargar los acuíferos.**

El uso de un cuerpo de agua superficial (ya sea para industria, recreación, hábitat de desove, etcétera) influirá en la calidad y la cantidad de aguas residuales tratadas que puedan introducirse sin efectos nocivos.

Otra opción es descargar el agua en los acuíferos. La recarga de acuíferos está aumentando en popularidad a medida que los recursos hídricos se agotan y la intrusión de agua salada se convierte en una amenaza para las comunidades costeras. Aunque el suelo es conocido por actuar como filtro para varios contaminantes, la recarga de acuíferos no debe ser vista como un método de tratamiento. Cuando un acuífero se contamina, es casi imposible recuperarlo.

**Consideraciones de diseño** Es necesario garantizar que la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor no se exceda; esto es, que el cuerpo receptor pueda aceptar la cantidad de nutrientes sin ser sobrecargado. Los parámetros como turbiedad, temperatura,

sólidos suspendidos, DBO, nitrógeno y fósforo, entre otros, deben monitorearse y controlarse antes de liberar el agua en un cuerpo natural. Se debe consultar a las autoridades locales para determinar los límites de descarga para los parámetros relevantes, ya que pueden variar ampliamente. En áreas muy sensibles podría necesitarse una tecnología de postratamiento (por ejemplo, cloración; véase POST, p. 136) para cumplir con los límites microbiológicos.

La calidad del agua extraída de un acuífero recargado se relaciona con la calidad de las aguas residuales introducidas, el método de recarga, las características del acuífero, el tiempo de residencia, la cantidad de mezcla con otras aguas y el historial del sistema. El análisis minucioso de estos factores debe preceder a cualquier proyecto de recarga.

**Idoneidad** La descarga a un cuerpo de agua superficial o acuífero podrá ser adecuada o no dependiendo de las condiciones ambientales locales y de las regulaciones legales que apliquen. Por lo general, descargar a un cuerpo de agua superficial sólo se recomienda cuando hay una distancia segura entre el punto de descarga y el siguiente punto de uso más cercano. Asimismo, la re-

carga de acuíferos es más apropiada en áreas que están en riesgo de intrusión salina o acuíferos que tengan un largo tiempo de retención.

Dependiendo del volumen, del punto de descarga o de la calidad del agua, podría requerirse un permiso.

**Aspectos de salud/aceptación** En general, los cationes ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ) y la materia orgánica serán retenidos por una matriz sólida, mientras que otros contaminantes (como los nitratos) permanecerán en el agua. Existen numerosos modelos para la posible recuperación de contaminantes y microorganismos, pero predecir la calidad del agua, o aguas abajo, extraída para un gran conjunto de parámetros es poco factible. Por lo tanto, se deben identificar con claridad las fuentes de agua potable y no potable, modelar los parámetros más importantes y completar la evaluación de riesgo.

**Operación y mantenimiento** El monitoreo y el muestreo periódico son importantes para garantizar el cumplimiento de las regulaciones y de los requerimientos de salud pública. Dependiendo del método de recarga, puede requerirse mantenimiento mecánico.

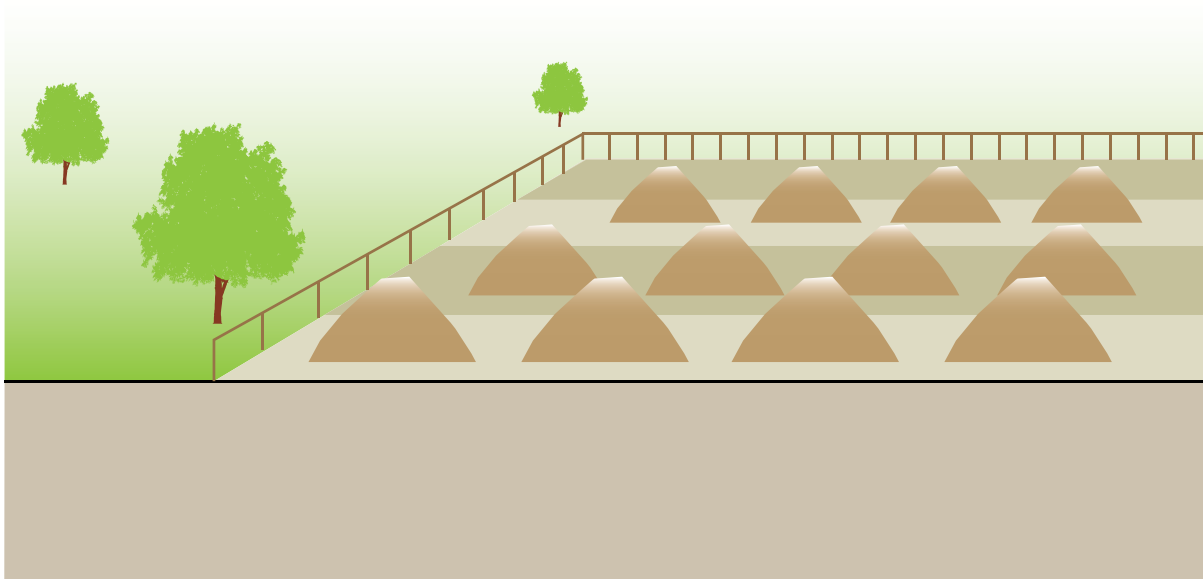
#### Pros y contras

- + Puede generar una fuente de agua a “prueba de sequía” (acuíferos).
- + Puede aumentar la productividad de los cuerpos de agua superficiales al mantener los niveles constantes.
- La descarga de nutrientes y microcontaminantes puede afectar a los cuerpos de agua natural o potable.
- La introducción de contaminantes puede tener impactos a largo plazo.
- Puede perjudicar las propiedades del suelo y de los acuíferos.

#### Referencias y lecturas adicionales

- ARGOSS (2001), *Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from On-Site Sanitation*, British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142, Keyworth, Reino Unido. Disponible en [www.bgs.ac.uk](http://www.bgs.ac.uk).
- Seiler, K. P., y J. R. Gat (2007), *Groundwater Recharge from Run-off, Infiltration and Percolation*, Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton y H. D. Stensel (2004), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4ª ed. (edición internacional), McGraw-Hill, Nueva York.
- OMS (2006), *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:
<input type="checkbox"/> ★ Vivienda <input type="checkbox"/> ★ Vecindario <input type="checkbox"/> ★★ Ciudad	<input type="checkbox"/> ★ Vivienda <input type="checkbox"/> ★★ Compartido <input type="checkbox"/> ★★ Público	<input type="checkbox"/> Lodo <input type="checkbox"/> Humus <input type="checkbox"/> Composta <input type="checkbox"/> Heces secas <input type="checkbox"/> Materiales secos de limpieza <input type="checkbox"/> Productos de pretratamiento



**La disposición final en superficie se refiere a la acumulación de lodo, heces u otros materiales que no pueden utilizarse en otros lugares. Una vez que el material ha sido llevado a un sitio para su disposición final en superficie, no tiene uso posterior. El almacenamiento se refiere a la acumulación temporal. Puede hacerse cuando no hay una necesidad inmediata del material, pero se anticipa su uso en el futuro, o cuando se desea mayor reducción de patógenos y secado antes de la aplicación.**

Esta tecnología se usa principalmente para lodos, aunque es aplicable a cualquier tipo de material seco e inservible. Una aplicación de esta tecnología es para la disposición final de materiales secos de limpieza, como papel higiénico, mazorcas de maíz, piedras, periódicos u hojas. Estos materiales no siempre se pueden mezclar con otros productos en algunas tecnologías, por lo que deben separarse.

Se debe colocar un basurero al lado de la interfase con el usuario para recolectar los materiales de limpieza y los materiales de higiene menstrual. Los materiales secos pueden ser quemados (por ejemplo, las mazorcas de maíz) o desechados junto con los desperdicios de la

vivienda. Para simplificar, el resto de esta ficha tecnológica se dedicará al lodo, ya que las prácticas para la disposición final de residuos sólidos están más allá del alcance de este compendio.

Cuando no hay demanda o aceptación de los beneficios del uso de lodo se puede colocar en monorellenos (vertederos exclusivos para lodo) o amontonar en pilas permanentes. El almacenamiento temporal contribuye con la deshidratación del producto y la eliminación de patógenos antes de su uso posterior.

**Consideraciones de diseño** No se recomienda verter lodo junto con los residuos sólidos urbanos (RSU), ya que se reduce la vida útil del vertedero que ha sido específicamente diseñado para contener materiales más nocivos. A diferencia de los vertederos de RSU más centralizados, los sitios para disposición final en superficie se pueden ubicar cerca de donde se trata el lodo, lo que limita la necesidad de transportarlo largas distancias.

La principal diferencia entre la disposición final en superficie y la aplicación al suelo es la tasa de aplicación. No hay límite para la cantidad de lodo que se puede aplicar a la superficie, ya que las cargas de nutrientes o

las tasas agronómicas no son una preocupación. No obstante, se debe prestar atención a la contaminación de acuíferos y a la lixiviación. Los sistemas más avanzados de disposición final en superficie pueden incorporar un revestimiento y un sistema de recolección de lixiviado con el fin de evitar que los nutrientes y los contaminantes se infiltren en los acuíferos.

Los sitios para el almacenamiento temporal de un producto deben ser cubiertos para evitar la humectación por agua de lluvia y la generación de lixiviado.

**Idoneidad** En vista de que la disposición final en superficie no genera beneficios, no debe considerarse como una opción primaria. Sin embargo, cuando no se acepta fácilmente el uso de lodo, la acumulación controlada y contenida de sólidos es preferible a una descarga descontrolada.

En algunos casos, el almacenamiento puede ser una buena opción para seguir secando y desinfectando un material y para generar un producto seguro y aceptable. También puede ser necesario para reducir la brecha entre oferta y demanda.

La disposición final en superficie puede hacerse en casi cualquier clima y ambiente, aunque podría no ser factible donde hay frecuentes inundaciones o donde la capa freática es alta.

**Aspectos de salud/aceptación** Si se protege el sitio de almacenamiento y disposición final en superficie (por ejemplo, con una cerca) y se sitúa lejos de áreas públicas, no debe haber riesgo de contacto ni de crear molestias. La contaminación de los acuíferos por lixiviado debe evitarse mediante un emplazamiento y un diseño adecuados. Se debe tener cuidado de proteger el sitio de almacenamiento o disposición final de aguas acumuladas y con parásitos, las cuales podrían exacerbar los problemas de malos olores y vectores.


**Operación y mantenimiento** El personal tiene que garantizar que sólo los materiales apropiados sean desechados en el sitio y debe mantener el control sobre el tráfico y las horas de operación. Los trabajadores deben usar ropa y equipo de protección apropiado.

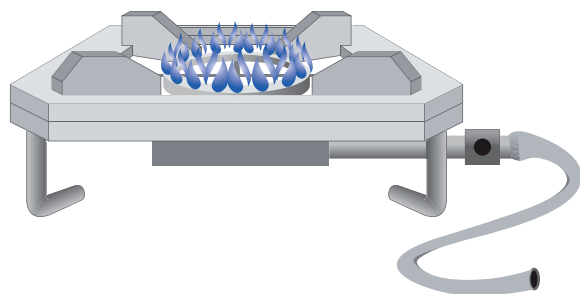
### Pros y contras

- + Puede prevenir la disposición final sin mitigar.
- + El almacenamiento puede hacer más higiénico el producto.
- + Puede hacer uso de terrenos disponibles o abandonados.
- + Requiere pocas habilidades para su operación o mantenimiento.
- + Bajos costos de capital y operación.
- Requiere un terreno grande.
- Posible lixiviación de nutrientes y contaminantes en los acuíferos.
- La disposición final en superficie dificulta el uso beneficioso de un recurso.
- Los malos olores pueden ser fuertes, dependiendo del tratamiento.
- Puede requerir equipo especial de dispersión.

### Referencias y lecturas adicionales

- Strande, L., M. Ronteltap y D. Brdjanovic (eds.) (2014), *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch). (Libro que compila la situación actual de conocimientos sobre FSM.)
- U. S. EPA (1999), *Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States. EPA-530/R-99-009*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- U. S. EPA (1994), *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA832-R-93-003*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

<b>Nivel de aplicación:</b>	<b>Nivel de manejo:</b>	<b>Entradas:</b>  Biogás
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Compartido <input checked="" type="checkbox"/> Público	



**En principio, el biogás se puede usar como cualquier otro gas de combustión. Cuando se produce en reactores de biogás caseros es más adecuado para cocinar. Además, la generación de electricidad es una valiosa opción cuando el biogás se produce en grandes digestores anaerobios.**

La demanda de energía de las viviendas varía mucho y está influida por los hábitos de cocina y alimenticios (esto es, los granos duros y el maíz pueden requerir tiempos de cocción largos, mientras que las verduras y las carnes frescas requieren menos tiempo y energía). El biogás tiene un contenido promedio de metano de 55 a 75%, lo que implica un contenido energético de 6 a 6.5 kWh/m<sup>3</sup>.

**Consideraciones de diseño** La demanda de gas puede definirse con base en la energía consumida previamente. Por ejemplo, 1 kg de leña corresponde a 200 L de biogás; 1 kg de estiércol seco de vaca corresponde a 100 L de biogás, y 1 kg de carbón corresponde a 500 L de biogás. El consumo de gas para cocinar por persona y por comida es de 150 a 300 L de biogás. Aproximadamente se necesitan de 30 a 40 L de biogás para hervir

un litro de agua, 120 a 140 L para cocinar 0.5 kg de arroz y de 160 a 190 L para cocer 0.5 kg de hortalizas. Algunas pruebas en Nepal y Tanzania han demostrado que la tasa de consumo de una estufa de biogás casera es de 300 a 400 L/h. Sin embargo, esto depende del diseño de la estufa y del contenido de metano del biogás. Se pueden asumir las siguientes tasas de consumo en litros por hora (L/h) para el uso de biogás:

- Quemadores domésticos: 200-450 L/h
- Quemadores industriales: 1000-3000 L/h
- Refrigerador (100 L), dependiendo de la temperatura exterior: 30-75 L/h
- Lámpara de gas, equivalente a una bombilla de 60 W: 120-150 L/h
- Motor de biogás/diésel por bhp: 420 L/h
- Generación de 1 kWh de electricidad con mezcla de biogás/diésel: 700 L/h
- Prensa para moldes plásticos (15 g, 100 unidades) con mezcla de biogás/diésel: 140 L/h

En comparación con otros gases, el biogás requiere menos aire para su combustión. Por lo tanto, los aparatos de gas convencionales necesitan ser modificados cuando usan combustión de biogás (por ejemplo, pasos y orificios de quemadores más grandes).

La distancia a través de la cual viaja el gas debe minimizarse, ya que puede producir pérdidas y fugas. Las válvulas de goteo deben instalarse para el drenaje de agua condensada, la cual se acumula en los puntos más bajos de la tubería de gas.

**Idoneidad** La eficacia calorífica del uso de biogás es de 55% en estufas, 24% en motores, pero solamente 3% en lámparas. Una lámpara de biogás sólo es la mitad de eficiente que una lámpara de queroseno. La forma más eficiente de usar biogás es en una combinación de potencia calorífica que pueda alcanzar una eficiencia de 88%. Pero esto sólo es factible en instalaciones más grandes y con la condición de que el calor de escape se use de forma rentable. Para uso doméstico, la mejor manera de usar el biogás es en la cocina.

**Aspectos de salud/aceptación** En general, los usuarios disfrutaban cocinar con biogás, ya que se puede encender y apagar inmediatamente (en comparación con la leña o el carbón). Además, arde sin humo y, por lo tanto, no contamina el aire interior. El biogás generado a partir de heces podría no ser aceptado en algunos contextos culturales. Asumiendo que la planta de biogás se construye, opera y mantiene en buenas condiciones (por ejemplo, el agua se drena), el riesgo de fugas, explosiones o cualquier otra amenaza para la salud humana es muy bajo.

**Operación y mantenimiento** Usualmente, el biogás está saturado con vapor de agua, lo que conduce a la condensación. Para evitar bloqueos y corrosión, el agua acumulada tiene que vaciarse a menudo de las trampas de agua instaladas. Las tuberías, accesorios, empalmes y dispositivos de gas deben ser monitoreados por personal capacitado. Al usar biogás para un motor es necesario reducir primero el sulfuro de hidrógeno, ya que se forman ácidos corrosivos cuando se combina con el agua en condensación. La reducción de dióxido de carbono también requiere esfuerzos financieros y operativos adicionales. Debido a que la “depuración” de CO<sub>2</sub> no es necesaria cuando el biogás se usa para cocinar, rara vez se recomienda en los países en desarrollo.

### Pros y contras

- + Fuente de energía gratuita.
- + Reducción de contaminación del aire interior y de deforestación (si antes se usaba leña o carbón).
- + Requiere pocas habilidades para su operación o mantenimiento.
- Podría no cumplir con la necesidad energética total.
- No puede reemplazar todos los tipos de energía.
- No puede almacenarse fácilmente (baja densidad energética por volumen) y, por lo tanto, necesita usarse continuamente.

### Referencias y lecturas adicionales

- Deublein, D., y A. Steinhauser (2011), *Biogas from Waste and Renewable Resources*, 2ª ed., Wiley-VCH, Weinheim, Alemania.
- Kossmann, W., U. Pönitz, S. Habermehl, T. Hoerz, P. Krämer, B. Klingler, C. Kellner, T. Wittur, F. von Klopotek, A. Krieg y H. Euler (1999), *Biogas Digest Volume II – Application and Product Development*, GTZ, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Lohri, C. (2009a), *Research on Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste at Household Level in Dar es Salaam*, Tanzania, Eawag (Department Sandec) Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).
- Lohri, C. (2009b), *Evaluation of Biogas Sanitation Systems in Nepalese Prisons*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, y ICRC, Ginebra, Suiza.
- Mang, H. P., y Z. Li (2010), *Technology Review of Biogas Sanitation. Draft – Biogas Sanitation for Blackwater, Brown Water, or for Excreta Treatment and Reuse in Developing Countries*, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).
- Vögeli, Y., C. R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener y C. Zurbrugg (2014), *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies*, Eawag (Department Sandec), Dübendorf, Suiza. Disponible en [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch).

**Además de las tecnologías establecidas y probadas que se presentan en la segunda parte de este compendio, existen otras muchas tecnologías de saneamiento innovadoras que están siendo investigadas, desarrolladas y probadas en el campo. Las tecnologías emergentes son aquellas que han superado las fases de laboratorio y piloto y que están siendo implementadas (desde junio de 2014) en contextos relevantes (esto es, en un país en desarrollo) y en una escala que indica que su expansión es posible (esto es, no se limita a una unidad).**

El Año Internacional del Saneamiento (AIS) en 2008 impulsó al sector al aumentar su visibilidad, involucrar a nuevos actores y abrir nuevas fuentes de financiamiento. La inclusión de nuevas fuentes de financiamiento—como la Fundación Bill & Melinda Gates ([www.gatesfoundation.org](http://www.gatesfoundation.org)) y el Programa de Agua y Saneamiento de la Corporación Financiera Internacional ([www.IFC.org/sellingsanitation](http://www.IFC.org/sellingsanitation))—, así como una mayor visibilidad y una mayor voluntad política han facilitado el financiamiento sustancial del sector y la innovación en los últimos años.

Hay tantas tecnologías innovadoras y emocionantes en investigación y desarrollo que no es posible incluir todas en esta sección. No obstante, la mayoría aún son demasiado costosas, técnicamente complejas o exigentes en cuanto a recursos para ser aplicadas ampliamente, o bien no han sido probadas a gran escala en los países en desarrollo. Sin embargo, varias de estas tecnologías han superado la fase de laboratorio y se están aplicando en países en desarrollo y en una escala que indica que la disseminación sostenible es viable. A continuación se enumeran algunas de las tecnologías emergentes más prometedoras, las cuales han sido probadas en el campo en condiciones variables de operación y composición de residuos.

Muchas de las innovaciones en el campo del saneamiento se refieren a logística y a modelos de negocio. Diversas empresas sociales están tratando de crear modelos de negocio sostenibles que provean tecnología o servicios de recolección/tratamiento a bajo costo para las comunidades que lo necesitan, las cuales han sido consideradas como demasiado pobres para pagar

por saneamiento. De hecho, los clientes de la “base de la pirámide” están llamando más la atención debido a su demanda colectiva y su poder de compra.

En el futuro esperamos actualizar este compendio con otras tecnologías y modelos de negocio que hayan demostrado ser económica y técnicamente sustentables. Aquí resumimos algunas de las innovaciones más prometedoras y difundidas, las cuales esperamos lleguen a ser comunes en los años venideros.

**Peepoo** es una bolsa biodegradable diseñada para la recolección de excretas cuando no se cuenta con tecnología de interfase de usuario permanente. Es una bolsa para un solo uso, pensada para ser sostenida con una mano o puesta sobre un contenedor pequeño (por ejemplo, una cubeta o botella PET cortada), con dos capas. La capa interna se dobla sobre la mano para protegerla o sobre un pequeño contenedor. Después de defecar u orinar en la capa interna, se ata la bolsa exterior.

La diferencia entre la Peepoo y una bolsa de plástico regular es que *a)* la bolsa interior de Peepoo está cubierta con urea para desinfectar las heces y *b)* es biodegradable. Las bolsas con excretas deben ser transportadas a una instalación de compostaje antes de que comiencen a descomponerse (alrededor de cuatro semanas). Están hechas de un bioplástico que se descompone en agua, dióxido de carbono y biomasa. Por lo tanto, no necesitan removerse del proceso de compostaje, ya que contribuyen al mismo.

Las bolsas son seguras para el manejo y no liberan malos olores durante las primeras 24 horas, lo que da al usuario cierto tiempo para transportarlas con seguridad hasta un punto de recolección apropiado. Las bolsas pesan poco (cerca de 12 gramos) y pueden contener hasta 800 ml de excretas. No se pretende que sustituyan a una tecnología permanente (por ejemplo, VIP, S. 3), pero se recomiendan como solución de saneamiento si las personas que no tienen acceso a ninguna tecnología (por ejemplo, personas desplazadas internamente, en situaciones de emergencia, etcétera) o si, por razones de seguridad, no pueden ir al centro de saneamiento más cercano (por ejemplo, si los sanitarios compartidos se ubican demasiado lejos o están cerrados por la noche).

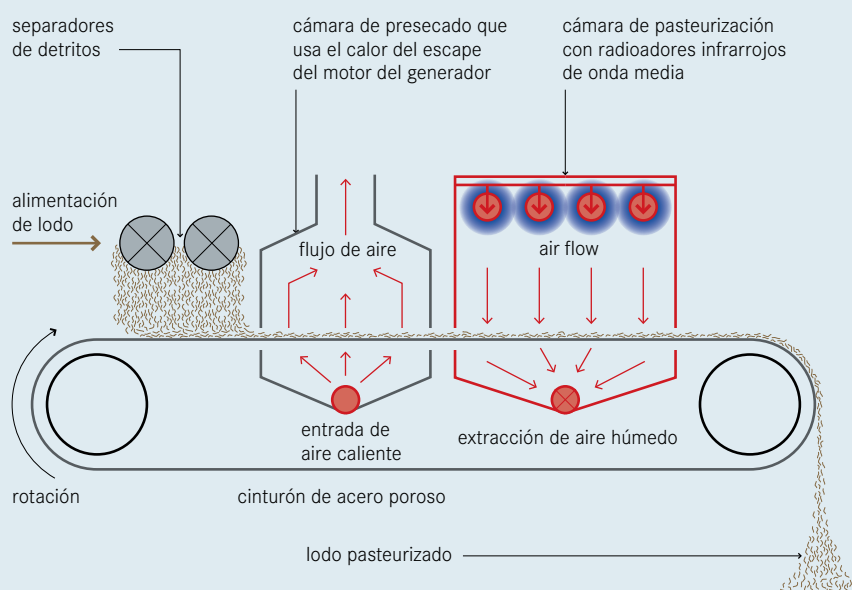
El desafío, al igual que con otras tecnologías de saneamiento basadas en contenedores móviles, es el manejo eficaz de la recolección y el compostaje de las bolsas. La bolsa Peepoo se ha usado ampliamente en Kenia, Filipinas, Suráfrica y Bangladesh, entre otros lugares.

**Filtro de compostaje** Existen variaciones del filtro de compostaje. Su concepto se basa en la combinación de filtración y digestión aerobia de sólidos. A diferencia de una fosa séptica (S. 9), donde los sólidos se asientan en el fondo y se degradan en condiciones anaerobias, en el filtro de compostaje los sólidos se separan de los líquidos por un medio poroso (lecho o bolsa de filtrado). Permanecen sobre/en el filtro y luego son desechos por los organismos aerobios que sobreviven en la matriz orgánica. Mantener un bajo volumen de agua en los sólidos recolectados es esencial para el éxito del filtro de compostaje. Por lo tanto, el filtro puede mantener condiciones aeróbicas sin saturarse. Esto se puede garantizar añadiendo capas de paja o astillas de madera con regularidad.

Entre las variaciones de diseño se incluyen filtros permanentes (por ejemplo, hechos de concreto) o bolsas de filtrado extraíbles que se pueden usar para contener el material del filtro orgánico. Además, el diseño determina la frecuencia con la que deben removerse los sólidos

acumulados y el tratamiento adicional, así como el tiempo que el proceso puede continuar sin reemplazar el filtro. Un diseño de dos cámaras funciona bajo el principio de alternancia —al igual que la cámara de deshidratación para heces (S. 7) o la cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico (S. 6)— ya que se puede usar cada cámara por un año, dejando que el contenido descanse y se descomponga en una mientras se usa la otra. También hay diseños que funcionan continuamente con una sola cámara (por ejemplo, el digestor de biopelícula; véase referencias). Algo esencial para el diseño del filtro de compostaje es el tratamiento secundario del efluente —por ejemplo, en un humedal artificial (T. 7 a T. 9) o en lagunas de estabilización (T. 5). Dependiendo del uso final deseado, los sólidos compostados podrían necesitar tratamiento adicional.

**Peletizador de lodos LaDePa** El peletizador de deshidratación y pasteurización de sanitarios (LaDePa) es una tecnología de secado y pasteurización de lodos capaz de producir un acondicionador de suelos seco y granulado a partir del lodo del sanitario de cámara. Puede ser alimentado en una relación de 1000 kg/h de lodo (30 a 35% de contenido de sólidos) para un efluente de unos 300 kg/h de gránulos secos (60 a 65% de contenido de sólidos).



**Figura 6:** Esquema del peletizador de lodos LaDePa



La basura que termina en las cámaras (bolsas de plástico, zapatos, etcétera) se separa del lodo por medio de un compactador de tornillo: el tornillo empuja el lodo a través de agujeros de 6 mm hacia una banda continua de acero poroso, mientras que los desperdicios son expulsados por un desagüe separado, de modo que puedan ser recolectados y desechados. El lodo extruido cae en una matriz abierta de filamentos parecidos a espagueti, en una capa con un espesor de 25 a 40 mm, hacia la banda porosa, aunque primero pasa por una sección de secado previo que usa el calor residual del motor de combustión interna de la energía planta.

Los gránulos de lodo parcialmente secos viajan por un secador patentado como *Parseps Dryer* que usa radiación infrarroja de onda media. Por ende, los gránulos son pasteurizados y secados mediante el uso de un ventilador extractor que saca el aire caliente a través de la banda porosa y la matriz abierta de lodo. Esto aumenta la capacidad de secado sin aumentar el efluente de energía. Los gránulos que emergen están libres de patógenos y son aptos para cultivos comestibles. Todo el proceso tarda 16 minutos. Una desventaja significativa del proceso LaDePa es que requiere mucha energía y una fuente energética constante (electricidad/diésel).

El municipio de Thekwini en Durban, Sudáfrica, ha estado realizando ensayos con LaDePa durante dos años. Los resultados de sus ensayos, junto con su programa de vaciado de cámaras VIP, indican que pueden tratar unas 2 000 toneladas de lodos de VIP al año con una planta. El producto tiene la marca registrada (GrowEtheK) y, una vez que obtenga su licencia como fertilizante bajo en nutrientes, será embolsado y vendido. Con base en el precio de venta de GrowEtheK, LaDePa generará unos \$27/h, lo que puede compensar los costos de operación. LaDePa fue diseñado por la empresa Particle Separation Systems (PSS), que ofrece el equipo para alquiler o venta. Si se prefiere la opción de alquiler, hay una cuota de instalación y un contrato de mantenimiento. Si el equipo se compra directamente, permanece el contrato de mantenimiento, pero no hay cuota de instalación.

**Producción de estruvita de la orina** La orina contiene la mayor parte del exceso de nutrientes excretado por el cuerpo. El nitrógeno y el fósforo son dos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y están presentes en la orina en cantidades significativas (las concentraciones varían mucho, pero los valores de 250 mg/L  $\text{PO}_4\text{-P}$  y 2.500 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$  son comunes). Con el fin de aprovechar los nutrientes, in-

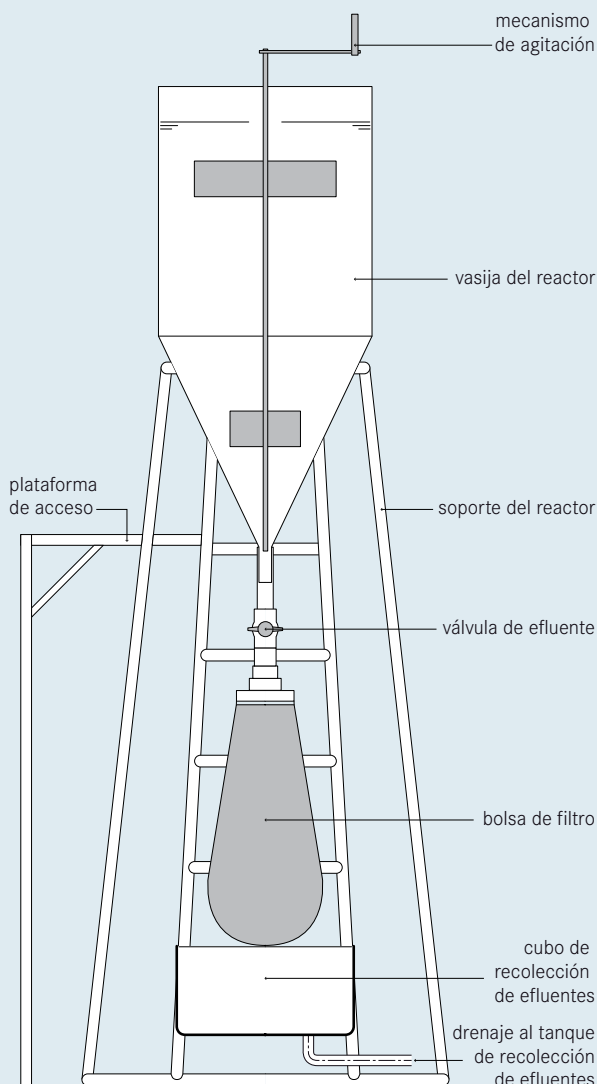
cluyendo el potasio, el azufre, etcétera, la orina almacenada puede aplicarse directamente a los cultivos (véase D. 2) o ser procesada en un fertilizante sólido llamado estruvita ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

La estruvita se produce al añadir algún tipo de fuente de magnesio soluble (cloruro de magnesio, agua madre o ceniza de leña) a la orina. El magnesio se une con el fósforo y el nitrógeno y se precipita de forma blanca y cristalina. Los cristales de estruvita deben filtrarse fuera de la solución, secarse y luego procesarse para ser usados. Actualmente se produce en Durban, Sudáfrica, donde se recolectan unos 1 000 litros de orina por día de sanitarios secos con separador de orina caseros.

Cuando no hay un uso o deseo de nutrientes derivados de la orina (por ejemplo, en áreas urbanas densas), la estruvita es una manera conveniente de generar un producto compacto de nutrientes que puede ser fácilmente almacenado, transportado y usado cuando y donde se necesite. No obstante, una desventaja es que la producción de estruvita genera un volumen equivalente de efluente, con un pH y una concentración de amonio altos, que requiere tratamiento adicional.

Otros elementos importantes, como el potasio, también permanecen en la solución. Sin embargo, la producción de estruvita es sencilla, ya que sólo requiere una cámara para mezclar y un filtro, y ha demostrado que funciona en muchos países y contextos. Es eficaz como primer paso en una estrategia de recuperación de nutrientes, pero no debe implementarse sin una estrategia para el tratamiento posterior del efluente. Algunos ejemplos de manejo eficaz del efluente son los sistemas de riego por goteo que distribuyen el líquido directamente en las raíces de los cultivos, aunque la distribución está limitada por cabeza y área disponible, o la nitrificación de la orina (que aún está en fase de desarrollo).

La estruvita también puede recuperarse de corrientes de aguas residuales (específicamente del sobrenadante del digestor) que tienen concentraciones más altas de fósforo que las aguas negras; aunque la tecnología para mezcla y dosificación son más complicadas. Ostara (véase referencias) es una de varias empresas que ha instalado sus tecnologías en grandes plantas de tratamiento de aguas residuales.



**Figura 7:** Esquema de un reactor de estruvita con mecanismo de agitación y bolsa de filtrado

## Referencias y lecturas adicionales

### Filtro de compostaje:

- Biofil (s. f.), “The Biofil Toilet System. The Toilet Facility that Makes Good Sanitation Sense”.
- Biofilcom, [www.biofilcom.org](http://www.biofilcom.org) (última consulta: abril de 2014).
- Gajurel, D. R., Z. Li y R. Otterpohl (2003), “Investigation of the Effectiveness of Source Control Sanitation Concepts Including Pre-Treatment with Rottebehalter”, *Water Science & Technology* 48 (1): 111-118.

- Hoffmann, H., S. Rüd y A. Schöpe (2009), *Blackwater and Greywater Reuse System Chorrillos, Lima, Peru – Case Study of Sustainable Sanitation Projects*, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA), Eschborn, Alemania. Disponible en [www.susana.org/library](http://www.susana.org/library).

### Peletizador de lodos LaDePa:

- Harrison, J. y D. Wilson (2012), “Towards Sustainable Pit Latrine Management through LaDePa”, *Sustainable Sanitation Practice* 13: 25-32. Disponible en [www.ecosan.at/ssp](http://www.ecosan.at/ssp).
- Particle Separation Systems, [www.parsep.co.za](http://www.parsep.co.za) (última consulta: abril de 2014).
- Wilson, D., y J. Harrison, comunicación personal (febrero de 2014).

### Producción de estruvita de la orina:

- Etter, B., E. Tilley, R. Khadka y K. M. Udert (2011), “Low Cost Struvite Production Using Source-Separated Urine in Nepal”, *Water Research* 45 (2): 852-862.
- Grau, M. G. P., S. L. Rhoton, C. J. Brouckaert y C. A. Buckley (2013), *Development of a Fully Automated Struvite Reactor to Recover Phosphorus from Source Separated Urine Collected at Urine Diversion Toilets in eThekweni*, WEF/IWA International Conference on Nutrient Removal and Recovery 2013, 28-31 July, Vancouver, Canadá. Disponible en [www.eawag.ch/vuna](http://www.eawag.ch/vuna).
- Nutrient Valorization from Urine in Nepal (STUN), [www.eawag.ch/stun](http://www.eawag.ch/stun) (última consulta: abril de 2014).
- Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc., [www.ostara.com](http://www.ostara.com) (última consulta: abril de 2014).

### Peepoo:

- Peepoople, [www.peepoople.com](http://www.peepoople.com) (última consulta: abril de 2014).
- Vinnerås, B., M. Hedenkvist, A. Nordin y A. Wilhelmson (2009) “Peepoo Bag: Self-Sanitising Single Use Biodegradable Toilet”, *Water Science & Technology* 59 (9): 1743-1749.

---

## Glosario

---

**Acondicionador del suelo:** un producto que mejora el agua y las propiedades de retención de nutrientes del suelo.

**Acuicultura o acuicultura:** el cultivo controlado de animales y plantas acuáticas. Véase laguna de acuicultura (D.9) y laguna de plantas flotantes (D.10).

**Acuífero:** el agua que se encuentra debajo de la superficie terrestre; la capa subterránea de roca o sedimento permeable (generalmente grava o arena) que mantiene o transporta las aguas subterráneas.

**Aerobio:** describe los procesos biológicos que ocurren en presencia de oxígeno.

**Afluente (o influente):** el nombre general para el líquido que entra en un sistema o proceso (por ejemplo, aguas residuales). En ocasiones se utiliza el término “influente”, aunque la Real Academia Española sólo acepta el término “afluente”.

**Agua(s) cafés:** véase productos, p. 10.

**Agua de arrastre:** véase productos, p. 11.

**Agua de limpieza anal:** véase productos, p. 10.

**Agua(s) grises:** véase productos, p. 11.

**Agua(s) negras:** véase productos, p. 10.

**Agua(s) pluviales:** véase productos, p. 12.

**Agua(s) residual(es):** el agua usada de cualquier combinación de actividades domésticas, industriales, comerciales o agrícolas, escurrimiento superficial/aguas pluviales y cualquier alcantarilla de afluencia/infiltración.

**Agua superficial:** un cuerpo de agua natural o artificial que aparece en la superficie (por ejemplo, arroyo, río, lago, laguna o embalse).

**Alcantarilla:** un canal abierto o tubería cerrada que se usa para conducir las aguas residuales.

**Alcantarillado:** la infraestructura física de la alcantarilla (a veces se usa indistintamente con aguas residuales).

**Alcantarillado condominial o simplificado:** véase C. 4 (sinónimo: alcantarillado simplificado).

**Alcantarillado convencional por gravedad:** véase C. 6

**Alcantarillado de diámetro pequeño:** véase C.5 (sinónimos: alcantarillado libre de sólidos, alcantarillado de paso pequeño).

**Alcantarillado de paso pequeño:** véase C.5 (sinónimos: alcantarillado libre de sólidos, alcantarillado de diámetro pequeño).

**Alcantarillado libre de sólidos:** véase C.5 (sinónimos: alcantarillado de paso pequeño, alcantarillado de diámetro pequeño).

**Alcantarillado simplificado:** véase C. 4 (sinónimo: alcantarillado condominial).

**Anaerobio:** describe los procesos biológicos que ocurren en ausencia de oxígeno.

**Anóxico:** describe el proceso por el cual el nitrato se convierte biológicamente en gas nitrógeno en ausencia de oxígeno. Este proceso también es conocido como desnitrificación.

**Aplicación de composta/humus:** véase D.4.

**Aplicación de heces deshidratadas:** véase D.3.

**Aplicación de lodos al terreno:** véase D.5.

**Aplicación de orina almacenada:** véase D.2.

**Arborlo:** véase D.1 (sinónimo: inodoro de relleno y cubierta).

**Área de superficie específica (ASE):** la relación entre el área superficial y el volumen de un material sólido (por ejemplo, el medio de filtración).

**Asentamiento:** véase sedimentación (sinónimo).

**Bacterias:** los organismos sencillos y unicelulares que se encuentran por todas partes en el planeta. Son esenciales para mantener la vida y realizan “servicios esenciales” como degradación aerobia y compostaje de los residuos, y digestión de los alimentos en nuestros intestinos. Algunos tipos, sin embargo, pueden ser patógenos y causan enfermedades de leves a graves. Las bacterias obtienen nutrientes de su entorno al excretar enzimas que disuelven moléculas complejas en otras más simples, las cuales luego pueden pasar a través de la membrana celular.

**Bidón:** véase C.1.

**Biodegradación:** la transformación biológica del material orgánico en compuestos y elementos más básicos (por ejemplo,

dióxido de carbono, agua) por bacterias, hongos y otros microorganismos.

**Biogás:** véase productos, p. 10.

**Biomasa:** véase productos, p. 10.

**Cal:** el nombre común para el óxido de calcio (cal viva, CaO) o el hidróxido de calcio (cal apagada o cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Es un polvo blanco, cáustico y alcalino que se produce al calentar piedra caliza. La cal apagada es menos cáustica que la cal viva, y es ampliamente usada en el tratamiento de agua/aguas residual(es) y en construcción (para morteros y yesos).

**Cámara de compostaje:** véase S.8.

**Cámaras de deshidratación:** véase S.7.

**Cámara doble mejorada ventilada (VIP):** véase S.4.

**Cámara doble para sanitario con arrastre hidráulico:** véase S.6.

**Cámara simple:** véase S.2.

**Cámara simple mejorada ventilada:** véase S.3.

**Capa freática:** véase nivel freático.

**Coagulación:** la desestabilización de partículas en el agua mediante la adición de productos químicos (por ejemplo, sulfato de aluminio o cloruro férrico), para que puedan agruparse y formar flóculos más grandes.

**Co-compostaje:** véase T.16.

**Combustión del biogás:** véase D.13.

**Composta:** véase productos, p. 10.

**Compostaje:** el proceso por el cual los componentes biodegradables son descompuestos biológicamente por microorganismos (principalmente bacterias y hongos) en condiciones aeróbicas controladas.

**Conducción:** véase grupo funcional, p. 82.

**Costo de inversión:** los fondos para la adquisición de un activo fijo, como infraestructura de saneamiento.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** la medida de la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua con el paso del tiempo (expresada en mg/L y, normalmente, medida por cinco días como DBO5). Es una medida indirecta de la cantidad de material orgánico biodegradable que está presente en el agua o en las aguas residuales: a mayor contenido orgánico, mayor cantidad de oxígeno se necesita para degradarlo (alta DBO).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de materia orgánica en el agua por un oxidante químico fuerte (expresado en mg/L). La DQO siempre es igual o mayor que la DBO, ya que es el total de oxígeno requerido para completar la oxidación. Es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua o en las aguas residuales: a mayor contenido orgánico, mayor cantidad de oxígeno se necesita para oxidarla químicamente (alta DBO).

**Desarenador:** véase PRE, p. 100 (sinónimo: trampa de arena).

**Desecación:** el proceso de reducir el contenido de agua del lodo o estiércol. El lodo desecado podría contener humedad significativa, pero por lo general está lo suficientemente seco como para ser conducido como un sólido (por ejemplo, paletado).

**Desenlodado:** el proceso de eliminar el lodo acumulado de un centro de almacenamiento o tratamiento.

**Desinfección:** la eliminación de microorganismos (patógenos) por inactivación (con agentes químicos, radiación o calor) o por procesos de separación física (por ejemplo, membranas). Véase POST, p. 136.

**Digestato:** el material sólido o líquido restante después de someterse a digestión anaerobia.

**Digestión anaerobia:** la degradación y estabilización de compuestos orgánicos por microorganismos en ausencia de oxígeno, lo cual deriva en la producción de biogás.

**Digestor anaerobio:** véase S.12 y T.17 (sinónimo: reactor anaerobio de biogás)

**Disposición final:** véase grupo funcional D, p. 138.

**Disposición final de agua:** véase D.11.

**Disposición y almacenamiento final en superficie:** véase D.12.

**E. coli (*Escherichia coli*):** la bacteria que habita en los intestinos de los seres humanos y en los animales de sangre caliente. Se utiliza como indicador de contaminación fecal del agua.

**En cuclillas:** posición que se prefiere en lugar de sentarse directamente en el sanitario.

**Efluente:** véase productos, p. 11.

**Escorrentía:** véase escorrentía de superficie.

**Escurrimiento superficial:** la porción de precipitación que no se infiltra en el suelo y corre por tierra.

**Espuma:** la capa de sólidos formada por los componentes de las aguas residuales que flotan a la superficie de un tanque o reactor (por ejemplo, aceite y grasa).

**Esquemas de sistema:** véase p. 15.

**Estabilización:** la degradación de materia orgánica con el objetivo de reducir compuestos fácilmente biodegradables para disminuir los impactos ambientales (por ejemplo, agotamiento de oxígeno, lixiviación de nutrientes).

**Estación de descarga al alcantarillado:** véase C.7.

**Estación de transferencia:** véase C.7 (sinónimo: tanque de retención subterráneo).

**Eutrofización:** el enriquecimiento del agua, tanto fresca como salina, por medio de nutrientes (especialmente los compuestos de nitrógeno y fósforo), los cuales aceleran el crecimiento de algas y formas superiores de vida vegetal y conllevan al agotamiento de oxígeno.

**Evaporación:** la fase de cambio del estado líquido a gaseoso que ocurre bajo temperatura de ebullición y, normalmente, se produce en la superficie de un líquido.

**Evapotranspiración:** la pérdida combinada de agua de una superficie por evaporación y transpiración de la planta.

**Excretas:** véase productos, p. 11.

**Fichas tecnológicas:** véase p. 15.

**Filtración:** el proceso de separación mecánica usando un medio poroso (por ejemplo, tela, papel, lecho de arena o lecho mixto) que capta partículas de material y permite que la fracción líquida o gaseosa pase a través del medio. El tamaño de los poros del medio determina lo que es capturado y lo que pasa.

**Filtración terciaria:** la aplicación de procesos de filtración para el tratamiento terciario del efluente. Véase POST, p. 136.

**Filtrado:** el líquido que ha pasado por un filtro.

**Filtro anaerobio:** véase S.11 y T.4.

**Filtro percolador:** véase T.10.

**Floculación:** el proceso por el cual el tamaño de las partículas aumenta como resultado de la colisión de la partícula. Las partículas forman agregados o flóculos de partículas finamente divididas y de partículas químicamente desestabilizadas, que luego pueden removerse mediante sedimentación o filtración.

**Flotación:** el proceso en el cual las fracciones más ligeras de aguas residuales (como grasa, aceite, jabón, etcétera) suben a la superficie y, por lo tanto, pueden ser separadas.

**Fosa alterna:** véase S.5.

**Fosa séptica o tanque séptico:** véase S.9.

**Grupo funcional:** véase terminología del compendio, p. 12.

**Heces:** véase productos, p. 11.

**Heces deshidratadas:** véase productos, p. 11 (sinónimo: heces secas).

**Heces secas:** véase productos, p. 11 (sinónimo: heces deshidratadas).

**Helminto:** un gusano parásito (esto es, que vive en o sobre su huésped, causando daño). Algunos ejemplos que infectan a los seres humanos son las lombrices intestinales (por ejemplo, *Ascaris lumbricoides* y anquilostomas) y los cestodos. Los huevos infecciosos de helmintos pueden encontrarse en excretas, aguas residuales y lodos. Son resistentes a la inactivación y pueden permanecer viables en heces y lodo por varios años.

**Humedal artificial:** la tecnología de tratamiento de aguas residuales que pretende reproducir los procesos que ocurren naturalmente en los humedales. Véase T.7-T.9.

**Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial:** véase T.8.

**Humedal artificial de flujo superficial:** véase T.7.

**Humedal artificial de flujo vertical:** véase T.9.

**Humus:** el remanente estable de materia orgánica descompuesta. Mejora la estructura del suelo y aumenta la retención de agua, pero no tiene ningún valor nutritivo. Véanse composta y productos, p. 11 (sinónimo: EcoHumus).

**Interfase de usuario:** véase grupo funcional U, p. 42.

**Laguna aerobia:** la laguna que comprende la tercera etapa de tratamiento en lagunas de estabilización. Véase T.5 (sinónimo: laguna de maduración, laguna de pulido).

**Laguna aireada:** véase T.6.

**Laguna de acuicultura (o acuicultura):** véase D.9.

**Laguna de espesamiento:** véase T.13.

**Lagunas de estabilización:** véase T.5.

**Laguna de maduración:** véase laguna aerobia (sinónimo).

**Laguna de plantas flotantes:** véase D.10 (sinónimo: laguna de macrófitas).

**Laguna de tratamiento final:** véase laguna aerobia (sinónimo).

**Laguna facultativa:** la laguna que se forma en la segunda etapa de tratamiento de las lagunas de estabilización. Véase T.5.

**Lagunas de sedimentación /espesamiento:** véase T.13.

**Lavador:** alguien que prefiere usar agua para limpiarse después de defecar, en lugar de usar un material seco (ésto es más común en los países árabes).

**Lecho de infiltración:** véase D.8.

**Lechos de secado con plantas:** véase T.15.

**Lechos de secado sin plantas:** véase T.14.

**Limpiador:** alguien que prefiere usar un material seco (por ejemplo, papel higiénico o periódico) para limpiarse después de defecar, en lugar de lavarse con agua.

**Lixiviado:** la fracción líquida que se separa del componente sólido mediante filtración por gravedad a través de los medios (por ejemplo, líquido que drena de los lechos de secado).

**Lodo:** véase productos, p. 12.

**Lodos activados:** véase T.12.

**Lodo fecal:** véase productos, lodo, p. 12.

**Macrófitas:** una planta acuática suficientemente grande como para verse a simple vista. Sus raíces y tejidos diferenciados pueden ser emergentes (cañas, totoras, juncos, arroz salvaje), sumergidas (milenrama acuática, utricularia) o flotantes (lenteja de agua, lirio acuático).

**Materiales secos de limpieza:** véase productos, p. 11.

**Metano:** un hidrocarburo incoloro, inodoro, inflamable y gaseoso con la fórmula química  $CH_4$ . El metano está presente en el gas natural y es el componente principal del biogás (50-75%) que se forma por descomposición anaerobia de materia orgánica.

**Microcontaminante:** un contaminante que está presente en concentraciones extremadamente bajas (por ejemplo, rastros de compuestos orgánicos).

**Microorganismo:** cualquier celular o no celular microbiológica capaz de reproducirse o de transferir material genético (por ejemplo, bacterias, virus, protozoos, algas u hongos).

**Mingitorio o urinario:** véase U.3.

**Nivel freático:** el nivel bajo de la superficie terrestre que está saturado con agua. Corresponde al nivel donde se encuentra el agua cuando un hoyo es excavado o perforado. Una capa freática no es estática y puede variar por temporada, año o uso (sinónimo: capa freática).

**Ooquiste:** véase quiste.

**Operación y mantenimiento (O&M):** las tareas rutinarias o periódicas necesarias para mantener un proceso o sistema funcionando según se requiera, y para evitar retrasos, reparaciones o periodos de inactividad.

**Orgánico:** véase productos, p. 11.

**Orina:** véase productos, p. 12.

**Orina almacenada:** véase productos, p. 12.

**Parásito:** un organismo que vive sobre o dentro de otro organismo y daña a su huésped.

**Patógeno:** un organismo u otro agente que causa enfermedades.

**Percolación:** el movimiento de líquido a través de un medio de filtración debido a la fuerza de la gravedad.

**pH:** la medida de acidez o alcalinidad de una sustancia. Un valor de pH por debajo de 7 indica que es ácido; un valor de pH por encima de 7 indica que es básico (alcalino).

**Postratamiento:** véase POST, p. 136 (sinónimo: tratamiento terciario).

**Pozo ciego:** un término ambiguo usado para describir un pozo de filtrado o tanque de retención (sinónimo: pozo negro).

**Pozo de absorción:** véase D.7. Pozo de filtrado (sinónimo).

**Pozo de filtrado:** pozo de absorción (sinónimo).

**Pozo negro:** ver pozo ciego (sinónimo).

**Pretratamiento:** véase PRE, p. 100.

**Producto:** véase terminología del compendio, p. 10.

**Productos de pretratamiento:** véase productos, p. 12.

**Protozoos:** un grupo diverso de organismos eucariotas unicelulares, que incluye a las amebas, los ciliados y los flagelados. Algunos pueden ser patógenos y causar enfermedades de leves a graves.

**Quiste:** la etapa de un microorganismo en la cual es resistente al medio ambiente para ayudarlo a sobrevivir periodos de condiciones ambientales severos. Algunos parásitos protozoarios forman quistes infecciosos y altamente resistentes (por ejemplo, *Giardia*) y ooquistes (esporas de paredes gruesas como *Cryptosporidium*) durante su ciclo de vida.

**Reactor anaerobio de flujo a pistón o con deflectores (RAP o ABR por sus siglas en inglés):** véase S.10 y T.3.

**Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés):** véase T.11.

**Reactor de biogás:** véase S.12 y T.17 (sinónimo: reactor anaerobio de biogás).

**Recarga de acuíferos:** véase D.11.

**Recolección y almacenamiento/tratamiento:** véase grupo funcional S, p. 56.

**Reducción logarítmica:** las eficiencias de remoción del organismo. Una unidad log = 90%, 2 unidades log = 99%, 3 unidades log = 99.9%, y así sucesivamente.

**Rejilla:** véase PRE, p. 100 (sinónimo: rejilla, trampa de basura).

**Relación C:N:** la relación de la masa de carbono con la masa de nitrógeno en un sustrato.

**Relleno y cubierta:** véase D.1 (sinónimo: ArborLoo).

**Residuo nocturno:** eufemismo antiguo para lodos fecales.

**Residuos sépticos:** un término antiguo para definir los lodos removidos de la fosa séptica.

**Reutilización:** el uso de agua reciclada.

**Riego:** véase D.6.

**Saneamiento:** los medios para la recolección segura y la disposición higiénica de excretas y residuos líquidos, con el fin de proteger la salud pública y conservar la calidad de los cuerpos de agua públicos y, en general, del ambiente.

**Saneamiento ambiental:** las intervenciones que reducen la exposición de las personas a enfermedades al proporcionar un ambiente limpio para vivir, con medidas para romper el ciclo de la enfermedad. Esto incluye generalmente el manejo higiénico de excretas humanas y animales, residuos sólidos, aguas residuales y aguas pluviales, el control de vectores, y la provisión de instalaciones de lavado para higiene personal y doméstica. El saneamiento ambiental incluye instalaciones y comportamientos que se coordinan para formar un entorno higiénico.

**Saneamiento ecológico (EcoSan):** el enfoque que pretende reciclar con seguridad nutrientes, agua o energía contenidos en las excretas y las aguas residuales, de manera que se minimice el uso de recursos no renovables (sinónimo: saneamiento orientado a los recursos).

**Saneamiento externo:** un sistema de saneamiento en el que las excretas y las aguas residuales se recogen y se conducen lejos del lugar donde se generan. Un sistema de saneamiento externo se basa en la tecnología de alcantarillado (véanse C.4-C.6) para su conducción.

**Saneamiento interno:** un sistema de saneamiento en el que las excretas y las aguas residuales se recogen, almacenan o tratan en el lugar donde se generan.

**Saneamiento mejorado:** las instalaciones que garantizan la separación higiénica de excretas del contacto humano.

**Saneamiento orientado a los recursos:** saneamiento ecológico (sinónimo).

**Sanitario:** la interfaz del usuario para micción y defecación.

**Sanitario con arrastre hidráulico:** véase U.4.

**Sanitario de tanque:** véase U.5.

**Sanitario de tanque con desviación de orina (UDFT por sus siglas en inglés):** véase U.6.

**Sanitario seco:** véase U.1.

**Sanitario seco con desviación de orina (SSDO):** véase U.2.

**Sedimentación:** el asentamiento de partículas en un líquido debido a la gravedad, de forma que se acumulan. También llamado asiento.

**Sedimentador:** véase T.1 (sinónimos: decantador, tanque de asentamiento, tanque de sedimentación).

**Sentado:** posición que se prefiere en lugar de ponerse en cuclillas sobre el sanitario.

**Séptico:** describe las condiciones bajo las cuales ocurren la putrefacción y la digestión anaerobia.

**Sistema de saneamiento:** véase terminología del compendio, p. 10.

**Sistema de tratamiento centralizado:** véase grupo funcional T, p. 98.

**Sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales (DEWATS):** el sistema en pequeña escala para recoger, tratar, descargar o reciclar las aguas residuales de una pequeña comunidad o área de servicio.

**Sólidos totales (ST):** el residuo que queda después de filtrar una muestra de agua o lodo y secarla a 105 °C (expresada en mg/L). Es la suma de los sólidos disueltos totales (TDS) y los sólidos suspendidos totales (SST).

**Superestructura:** las paredes y el techo construidos alrededor de un sanitario o baño para ofrecer privacidad y protección al usuario.

**Tanque de almacenamiento de orina:** véase S.1.

**Tanque de asentamiento:** véase T.1 (sinónimo: sedimentador, tanque de sedimentación).

**Tanque de retención subterráneo:** véase C.7 (sinónimo: estación de transferencia).

**Tanque de sedimentación:** véase T.1 (sinónimo: sedimentador, tanque de asentamiento).

**Tanque Imhoff:** véase T.2.

**Tecnología de saneamiento:** véase terminología del compendio, p. 10.

**Tecnología emergente:** la tecnología que ha avanzado más allá del laboratorio y de pequeñas fases piloto y que se está aplicando en una escala que indica que su expansión es posible. Véase p. 166.

**Tiempo de retención:** (sinónimo: tiempo de retención hidráulica).

**Tiempo de retención hidráulica (TRH):** el tiempo promedio en que los compuestos líquidos y solubles permanecen en un reactor o tanque (sinónimo: tiempo de retención).

**Trampa de arena:** véase PRE, p. 100 (sinónimo desarenador).

**Trampa de basura:** véase PRE, p. 100 (sinónimo: rejilla).

**Trampa de grasa:** véase PRE, p. 100.

**Tratamiento primario:** la primera etapa importante en el tratamiento de aguas residuales que remueve sólidos y materia orgánica principalmente mediante el proceso de sedimentación o flotación.

**Tratamiento secundario:** le sigue al tratamiento primario para lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos del efluente. La remoción de nutrientes (por ejemplo, fósforo) y la desinfección pueden incluirse en la definición de tratamiento secundario o tratamiento terciario, dependiendo de la configuración.

**Tratamiento semicentralizado:** véase grupo funcional T, p. 98.

**Tratamiento terciario:** le sigue al tratamiento secundario para obtener una mayor remoción de contaminantes del efluente. La remoción de nutrientes (por ejemplo, fósforo) y la desinfección pueden incluirse en la definición de tratamiento secundario o tratamiento terciario, dependiendo de la configuración. Véase POST, p. 136 (postratamiento).

**Urea:** la molécula orgánica  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$  que es excretada en la orina y que contiene el nutriente nitrógeno. Con el tiempo, la urea se separa en bióxido de carbono y amonio, para ser usada fácilmente por los organismos en el suelo.

**Uso final:** la utilización de productos derivados de un sistema de saneamiento (véase uso).

**Uso y/o disposición final:** véase grupo funcional D, p. 138.

**Vaciado y transporte manual:** véase C.2.

**Vaciado y transporte motorizado:** véase C.3.

**Vector:** un organismo (comúnmente un insecto) que transmite una enfermedad a un huésped. Por ejemplo, las moscas son vectores, ya que pueden transportar y transmitir patógenos de las heces a los seres humanos.

**Virus:** un agente infeccioso que consiste en un ácido nucleico (ADN o ARN) y una capa de proteína. Los virus sólo pueden

multiplicarse en las células de un huésped vivo. Se sabe que algunos virus patógenos son transmitidos por el agua (por ejemplo, los rotavirus que pueden causar enfermedades diarreicas).



**Referencia bibliográfica:**

Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R., Zurbrügg C. (2014), Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2<sup>nd</sup> Revised Edition, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland.

**ISBN: 978-3-906484-67-9**

© Eawag: Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática, Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo (Sandec) Dübendorf, Switzerland, [www.sandec.ch](http://www.sandec.ch)

Este documento es publicado por Eawag, un centro colaborador de la Organización Mundial de la Salud (OMS); sin embargo, no es una publicación de la OMS. Eawag es responsable de las opiniones expresadas en este documento y las opiniones no representan necesariamente las decisiones o políticas de la OMS.

Se concede permiso para la reproducción de este material, en su totalidad o en parte, para fines educativos, científicos o relacionados con el desarrollo, excepto aquellos que impliquen venta comercial, siempre y cuando se cite la fuente completa.

Una copia gratuita en PDF de esta publicación puede descargarse de [www.sandec.ch/compendium](http://www.sandec.ch/compendium).

**Diseño gráfico y dibujos técnicos:**

Pia Thür, Zürich y Paolo Monaco | Designport GmbH, Zürich.

**Edición del texto en español:** Rodrigo Riquelme, Ricardo Martínez Lagunes y Juan Carlos Sapien.

**Fotografías:** Eawag (Sandec) y Banco Interamericano de Desarrollo.

**Segunda edición:** 1 000 ejemplares.

El *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* se terminó de imprimir en marzo de 2018 en los talleres de Letra Impresa GH, SA de CV.



Eawag  
Department Sandec  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf  
Switzerland  
Phone +41 (0)58 765 52 86  
info@sandec.ch  
www.eawag.ch  
www.sandec.ch

Water Supply & Sanitation  
Collaborative Council  
15 Chemin Louis-Dunant  
1202 Geneva  
Switzerland  
www.wsscc.org

International Water Association (IWA)  
Alliance House  
12 Caxton Street  
London SW1H 0QS  
United Kingdom  
www.iwahq.org

**Esta segunda edición revisada del compendio compila en un solo volumen información detallada sobre diferentes sistemas y tecnologías de saneamiento. Al ordenar y estructurar tecnologías probadas y comprobadas en un solo documento conciso, al lector se le proporciona una herramienta de planificación útil para una toma de decisiones más informada.**

**La Parte 1 describe diferentes configuraciones de sistemas para una variedad de contextos.**

**La Parte 2 consiste en 57 fichas informativas de tecnologías que describen las principales ventajas, desventajas, usos y cuáles son apropiadas para construir un sistema completo de saneamiento según el contexto. Cada ficha informativa se complementa con una ilustración descriptiva.**