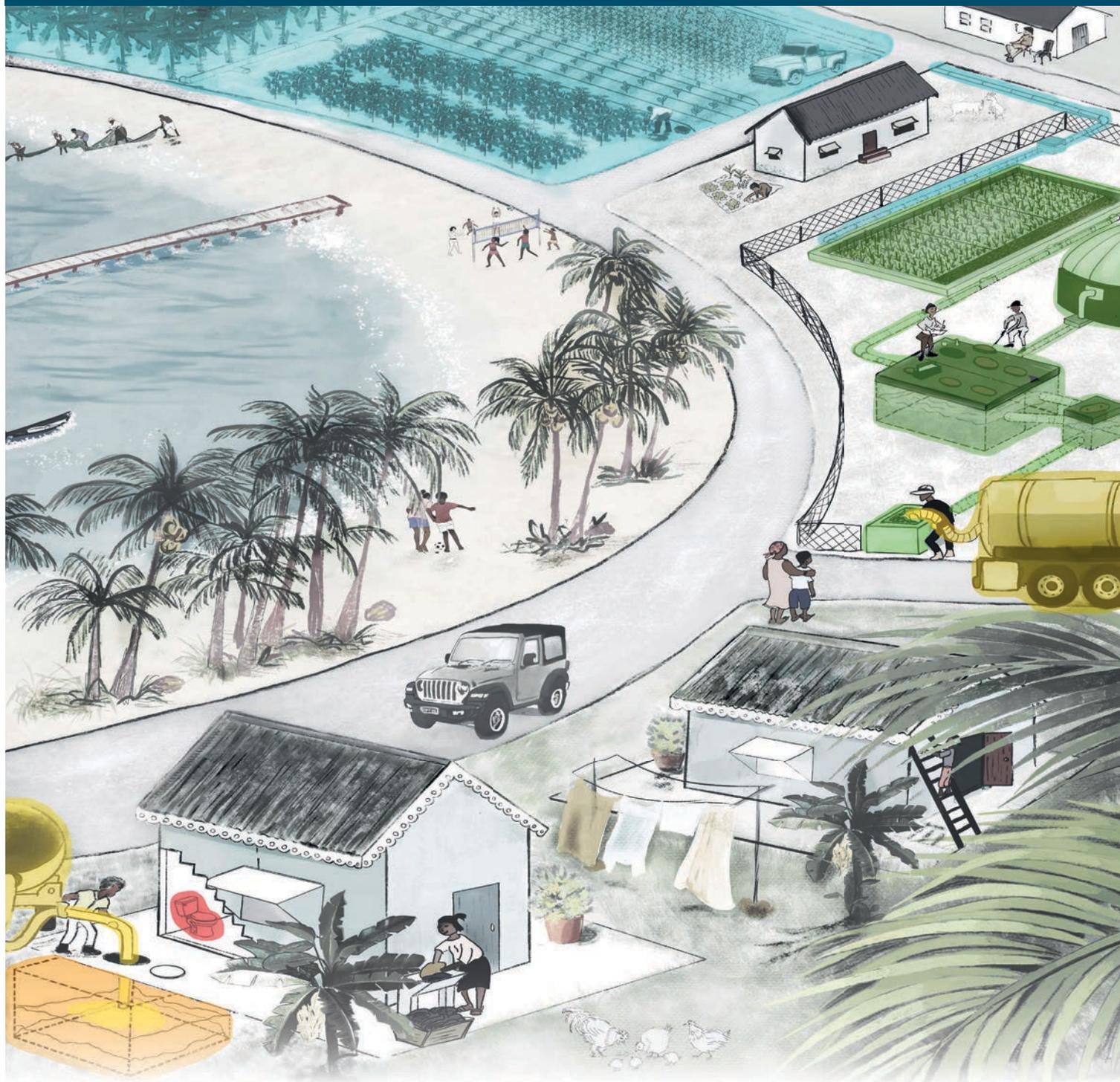


Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento para la Región del Gran Caribe





El GEF CReW+ es un proyecto de asociación financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) que está siendo implementado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 18 países de la Región del Gran Caribe (RGC).

Este proyecto se basa en su anterior fase exitosa del proyecto “El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW)” (2011-2017). CReW+ está siendo ejecutado por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) y la Secretaría del Convenio de Cartagena (CAR/RCU) en nombre del BID y el PNUMA, respectivamente.

Los 18 países participantes en el CReW+ (Barbados, Belice, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Grenada, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Panamá, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago) varían geográficamente, desde grandes países continentales hasta pequeños estados insulares con contextos políticos, lingüísticos y culturales significativamente diferentes.

Sobre el GEF: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) ha proveído de \$22 millones en grants y blended finance y ha movilizó cerca de \$120 billones en cofinanciamiento en más de 5200 proyectos y programas. El GEF es el fondo fiduciario más grande enfocado en permitir a países en desarrollo invertir en la naturaleza y apoya la implementación de convenios internacionales en biodiversidad, cambio climático, químicos y desertificación. Reúne 184 gobiernos, adicionalmente sociedad civil, organizaciones internacionales, sector privado y aliados.

Financiado por: Ejecutado por:



OEA | Más derechos para más gente

Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento para la Región del Gran Caribe

Guía para la implementación del RSAP en el sector de saneamiento

El Plan de Acción Estratégico Regional para el Sector del Agua en el Caribe (RSAP por sus siglas en inglés) fue desarrollado por las partes interesadas regionales en 2018 y respaldado en 2019 por la Declaración de Basseterre.

**Stefan Reuter, Dierk Demant, Gustavo Heredia, Christoph Lüthi,
Philippe Reymond, Roland Schertenleib, Lukas Ulrich y Christian Zurbrügg**

Nuestro agradecimiento especial va para:
la Alianza de Saneamiento Sostenible (SuSanA), Capítulo Regional Latinoamérica
el programa global Sanitation for Millions
los grupos de especialistas de la Asociación Internacional del Agua (IWA)
y los participantes del Proyecto GEF CReW+.

Este compendio se basa en el trabajo de Elizabeth Tilley,
autor principal de las ediciones 2008 y 2014 del Compendio Eawag
de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento.

Nos gustaría agradecer a las siguientes personas
por sus aportes y comentarios:

Jessica Altenburger, Raluca Anisie, Victor Cantarero, Gustavo Cubero, Cécile Dekeuwer,
Eduardo Falcon, Diana Garcia Moreno, Robert Gensch, Helmut Gerber, Sara-Jade Govia,
Jorge Jaén, Ignatius Jean, Günther Klatte, Pedro Kraemer, Tizian Kuempel, Günter Langergraber,
Hans Jörg Lerchenmüller, Ricardo Martinez Lagunes, Jennifer McConville, Mona Mijthab,
Carine Mineau, Abishek S. Narayan, Diana Ramírez, Samuel Renggli, Dorothee Spuhler,
Konstantina Velkushanova, Uver Villalobos Cardozo, David Wilk, Leif Wolf

Asimismo, queremos reconocer el apoyo
de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH otorgando este trabajo
en representación del Banco Interamericano de Desarrollo y el BMZ
en el marco del proyecto CReW+ financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

- CWWA Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales
(Caribbean Water and Wastewater Association), Trinidad y Tobago, <https://cwwa.net>
- CAWASA Asociación de Agua y Saneamiento del Caribe
(Caribbean Water and Sewerage Association), Santa Lucía, www.cawasa.org
- EAWAG Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática
(Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), Sandec - Departamento de Saneamiento,
Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo, Suiza, www.sandec.ch/compendium
- BORDA Asociación Bremense de de Investigación y Desarrollo de Ultramar
(Bremen Overseas Research and Development Association), BORDA Las Américas, Mexico, www.borda-la.org



Sara-Jade Govia
CWWA



Ignatius Jean
CAWASA



Christoph Lüthi
EAWAG



Pedro Kraemer
BORDA

El saneamiento es un elemento clave del desarrollo sostenible e influye significativamente en la salud y el bienestar de las personas, lo que se hizo especialmente evidente durante la pandemia de COVID-19. Este compendio se construye sobre los esfuerzos considerables realizados por autores anteriores y asociaciones, para promover un saneamiento mejorado, proporcionando una base de conocimientos y orientación de fácil acceso sobre cómo lograr estas mejoras.

El cambio climático tiene un profundo impacto en la forma en que las comunidades de todo el mundo pueden acceder de manera confiable al agua limpia y al saneamiento. El cambio climático también puede causar escasez y mala calidad del agua, y ejerce una presión significativa sobre la infraestructura a través del exceso de lluvia, sequías, aumento del nivel del mar y escorrentías de gran afectación. Para la Región del Gran Caribe, el desafío se ve agravado por el impacto del cambio climático en nuestros patrones de clima, lo que provoca tormentas cada vez más fuertes y eventos secos extremos. Los eventos meteorológicos que históricamente se han considerado eventos de cien años están ocurriendo cada vez con más frecuencia. Por eso es tan importante la gestión sostenible del agua y el saneamiento. Debemos ser capaces de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Nuestro marco compartido para esto es el “Plan de Acción Estratégico Regional para el Sector del Agua en el Caribe para Desarrollar Resiliencia a los Impactos del Cambio Climático” (RSAP por sus siglas en inglés). Desarrollado por las partes interesadas regionales en torno al Foro Mundial del Agua de 2018, el plan fue aprobado en 2019 durante el 15.º Foro de Alto Nivel para Ministros del Caribe Responsables del Agua con la “Declaración de Basseterre” y los planes anuales de implementación subsiguientes coordinados por CWWA.

Los dos primeros compendios producidos por Eawag y sus socios en 2008 y 2014 proporcionaron conocimiento sobre una amplia gama de tecnologías de saneamiento sin sesgo o agenda. Ayudaron a aumentar el reconocimiento de que una “cadena” de saneamiento en pleno funcionamiento debe vincular los inodoros a una instalación de tratamiento a través de un sistema operativo de recolección y transporte. También presentaron opciones de recuperación y reutilización de recursos como 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 en el sector del saneamiento y es ampliamente aclamado por una gran audiencia como una herramienta de referencia internacional.

Adaptado a las necesidades específicas de las empresas de servicios públicos en la Región del Gran Caribe, este compendio se complementa con dos nuevas secciones: la parte 3 aborda cuestiones de planificación y toma de decisiones relevantes para la implementación del RSAP en el sector de saneamiento. La parte 4 integra todos los elementos de las partes 1, 2 y 3 en estudios de caso seleccionados. Se explican varios sistemas y tecnologías, incluyendo su esquema, los aspectos institucionales, regulatorios y financieros, así como las lecciones aprendidas. Por ello, este compendio se subtitula acertadamente: “Guía para la implementación del RSAP en el sector de saneamiento”.

Creemos que nuestros esfuerzos colectivos en curso en la región ayudarán a garantizar el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible sobre saneamiento (ODS 6). Al hacerlo, contribuiremos sustancialmente a lograr la seguridad del agua y posibilitaremos otros ODS, como por ejemplo salud y bienestar, vida terrestre, vida acuática y acción climática. Esperamos que disfrute de la lectura y esperamos tener noticias tuyas.

Tabla de contenido

Introducción	7
Antecedentes y público objetivo	7
¿Qué hay de nuevo en esta edición para la RGC?	7
Estado actual de saneamiento en la RGC	7
Nuevo paradigma para la prestación de servicios de agua y saneamiento	8
Estructura y uso del compendio	9
Compendios complementarios y herramientas de desarrollo del sector de saneamiento	10
Terminología del compendio	12
Sistemas de saneamiento	12
Productos	12
Grupos funcionales	14
Tecnologías de saneamiento	15
Parte 1: Esquemas de sistemas	17
Uso de los esquemas de sistemas	18
Sistema 1: Sistema de aguas negras con infiltración de efluentes <i>in situ</i> y tratamiento de lodos fuera del sitio	22
Sistema 2: Sistema de aguas negras con producción de lodos <i>in situ</i> y tratamiento de efluentes/lodos fuera del sitio	24
Sistema 3: Sistema de tanque de retención con transporte motorizado para el tratamiento fuera del sitio	26
Sistema 4: Sistema de alcantarillado sin almacenamiento <i>in situ</i>	28
Sistema 5: Sistema de alcantarillado con desviación de orina y transporte para aplicación externa de orina	30
Sistema 6: Sistema basado en contenedores con desviación de orina y transporte para tratamiento externo	32
Parte 2: Grupos funcionales con fichas tecnológicas	35
Lectura de las fichas tecnológicas	36
U Interfaz con el usuario	38
U.1 Inodoro con tanque	40
U.2 Urinario	42
U.3 Inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT)	44
U.4 Inodoro seco con desviación de orina (UDDT)	46

S Recolección y almacenamiento/tratamiento	48
S.1 Tanque de almacenamiento/contenedor	50
S.2 Tanque de retención	52
S.3 Tanque séptico	54
S.4 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	56
S.5 Filtro anaerobio	58
S.6 Reactor de película fija aireado sumergido (SAFF)	60
C Conducción	62
C.1 Transporte manual	64
C.2 Vaciado y transporte motorizado	66
C.3 Alcantarillado condominial o simplificado	68
C.4 Alcantarillado libre de sólidos	70
C.5 Alcantarillado convencional	72
T Tratamiento (semi)centralizado	74
PRE Tecnologías de pretratamiento	76
T.1 Sedimentador	78
T.2 Tanque Imhoff	80
T.3 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	82
T.4 Filtro anaerobio	84
T.5 Lagunas de estabilización (WSP)	86
T.6 Laguna aireada	88
T.7 Humedal de flujo superficial (HFS)	90
T.8 Humedal de flujo horizontal (HFH)	92
T.9 Humedal de flujo vertical (HFV)	94
T.10 Humedal flotante (HF)	96
T.11 Filtro percolador	98
T.12 Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (RAFA)	100
T.13 Lodos activados	102
T.14 Laguna de sedimentación/espesamiento	104
T.15 Lecho de secado sin plantas	106
T.16 Lecho de secado con plantas	108
T.17 Co-compostaje	110
T.18 Reactor de biogás	112
T.19 Carbonización	114
POST Filtración terciaria y desinfección	116
R Reúso y/o disposición final	118
R.1 Aplicación de orina	120
R.2 Aplicación de compost	122
R.3 Aplicación de lodos	124
R.4 Aplicación de efluente/irrigación	126
R.5 Pozo de absorción	130

R.6 Lecho de infiltración	132
R.7 Laguna de acuicultura o acuicultura	134
R.8 Laguna de plantas flotantes	136
R.9 Disposición final del agua/recarga de acuíferos	138
R.10 Disposición y almacenamiento en superficie	140
R.11 Combustión de biogás	142
R.12 Aplicación de biochar	144
Tecnologías de saneamiento emergentes	147
Parte 3: Temas transversales para la planificación y la toma de decisiones	156
X A - Participación de las partes interesadas	158
X B - Sensibilidad de género	160
X C - Resiliencia climática	162
X 1 - Gobernanza del agua resiliente al clima	170
X 2 - Gestión de recursos hídricos resiliente al clima	177
X 3 - Apoyo a la toma de decisiones informadas por el clima	182
X 4 - Provisión de servicios de agua y saneamiento resiliente al clima	184
X 5 - Desarrollo de capacidades y sensibilización para la resiliencia climática	196
Parte 4: Estudios de caso	200
Caso 1: Tratamiento de aguas residuales basado en la naturaleza para nuevos desarrollos de vivienda en Penonomé, Panamá	202
Caso 2: Manejo integrado de aguas residuales y biosólidos en un matadero en León, Nicaragua	206
Caso 3: Tratamiento (semi)centralizado de aguas residuales para nuevos desarrollos habitacionales en Nindirí, Nicaragua	212
Caso 4: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de campos de golf en un gran resort de playa en Punta Cana, República Dominicana	216
Caso 5: Ahorro de agua y saneamiento sostenible con saneamiento en contenedores para una comunidad periurbana en el lago Atitlán, Guatemala	220
Caso 6: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de cultivos a nivel municipal en Tolata, Bolivia	226
Glosario	232
Referencias y lecturas adicionales	238
Pie de imprenta	266

Antecedentes y público objetivo Este es el primer compendio para la Región del Gran Caribe, adaptado a las necesidades de la región a través de la investigación previa, la participación activa de las partes interesadas y la contextualización de los aspectos técnicos y sociales que permitirán la aplicación de las tecnologías presentadas. Se desarrolló en gran medida sobre la base del compendio Eawag de sistemas y tecnologías de saneamiento, publicado por primera vez en 2008, con una segunda edición actualizada publicada en 2014.

Desde entonces ha sido traducido a varios idiomas y distribuido digitalmente por diversas organizaciones sectoriales. La popularidad del documento radica en su brevedad, estructura y presentación de una gran variedad de información sobre tecnologías probadas en un solo documento. Como en ediciones anteriores:

- no consideramos las tecnologías de saneamiento que están en desarrollo o que existen solo como prototipos;
- incluimos únicamente tecnologías de saneamiento “mejoradas” que proporcionan saneamiento seguro, higiénico y accesible;
- incluimos tecnologías alimentadas por gravedad que funcionen sin suministro de energía, que son resistentes a los cortes de energía y que no aumentan las emisiones de CO₂, muchas de las cuales son soluciones basadas en la naturaleza;
- presentamos sistemas de economía circular que recuperan y reciclan de forma segura agua, energía, nutrientes y biosólidos para actividades de valor añadido como el riego, la energía o la producción de compost.

El enfoque de este compendio está en la gama de tecnologías urbanas y periurbanas que se pueden proporcionar y administrar como un servicio público. En consecuencia, nos abstendremos de repetir varias tecnologías de letrinas de pozo, ya que están ampliamente disponibles en los compendios en inglés, francés y español, incluida la versión en línea más interactiva titulada “Perspectiva de los sistemas de saneamiento” (p. 11). Este compendio es el primero en presentar el Saneamiento Basado en Contenedores, ofrecido y operado con éxito en la región (<https://cbsa.global>), el cual, comparado con las letrinas de pozo, es la opción preferida desde una perspectiva económica y de salud (Sklar y Faustin, 2017).

El compendio es un documento de orientación para ingenieros

os y planificadores en la Región del Gran Caribe y más allá, destinado principalmente a ser utilizado para procesos de planificación y comunicación que involucran a las comunidades locales. También está destinado a personas o expertos que tienen un conocimiento detallado sobre tecnologías convencionales (como son ejecutores de infraestructura, contratistas, consultores) y que requieren información sobre diferentes configuraciones de sistemas y alternativas. Este no pretende ser la fuente única para ingenieros que toman decisiones *para* la comunidad, por ejemplo, toma de decisiones impulsadas por expertos. Varios medios de difusión, como www.susana.org y un MOOC en <https://academy.gefcrew.org> acompañarán su publicación.

¿Qué hay de nuevo en esta edición para la RGC?

1. Seis sistemas de saneamiento (en lugar de nueve) y un total de 48 fichas tecnológicas (en lugar de 57) adaptadas a las necesidades específicas de la Región del Gran Caribe desde la perspectiva de los servicios públicos.
2. Descripciones de tecnología revisadas con referencias actualizadas e ilustraciones mejoradas, basadas en revisiones de expertos de renombre del sector y teniendo en cuenta los desarrollos clave en el sector durante los últimos ocho años.
3. Biochar como nuevo producto de salida.
4. Cuatro hojas informativas sobre nuevas tecnologías y una sección actualizada sobre tecnologías emergentes.
5. Un sistema de saneamiento adicional, “Sistema 3: Sistema de tanque de retención”.
6. Una parte 3 adicional que aborda cuestiones relevantes para la toma de decisiones relacionadas con el entorno natural, construido o propicio (*enabling environment*).
7. Una nueva parte 4 con seis estudios de caso seleccionados que muestran sistemas y tecnologías en condiciones de la vida real, incluidos los aspectos institucionales, normativos y financieros, así como lecciones aprendidas.

Estado actual de saneamiento en la RGC

El proceso de contextualización de una publicación muy conocida y utilizada –como sin duda lo es el compendio– al contexto regional trae sus propias ventajas y desventajas. Si bien podría decirse que existe la necesidad de una descripción general concisa, potencialmente respondiendo a preguntas como: “¿cuál es el escenario de referencia?, ¿de dónde

empezamos?”, también hay buenas razones para tener mucho cuidado con términos como “situación/estado actual”, ya que estos tienden a actualizarse periódicamente, a veces anualmente, y por lo tanto, pronto podrían hacer que este compendio se vuelva obsoleto. A continuación, se presentan cinco puntos clave que pueden ofrecer una primera orientación sobre la situación/estado actual del saneamiento. Para más información, al final se citan algunas publicaciones valiosas.

- 1. Cifras** La cobertura de alcantarillado convencional conectado a plantas de tratamiento de aguas residuales en la Región del Gran Caribe oscila entre 0 y 30 %. El saneamiento se proporciona predominantemente mediante fosas sépticas y otras soluciones *in situ*. Las letrinas de pozo continúan existiendo, en áreas atendidas por servicios públicos, predominantemente en asentamientos informales. Se requieren mejores soluciones donde éstas no se puedan manejar de manera segura y representen una amenaza para la salud pública y ambiental.
- 2. Prioridades** Los servicios públicos de la región tienen dificultades para abordar el agua no facturada, que oscila entre el 20 y el 70 % en la región. En este contexto, la cobertura de saneamiento parece ser una prioridad menor, una impresión engañosa, ya que los servicios de saneamiento inseguros solo agravarán la renuencia y la falta de voluntad para pagar por el agua. Desde la perspectiva de una autoridad gubernamental o de un donante internacional, pueden surgir dudas sobre cómo una empresa de servicios públicos, incapaz de administrar un suministro de agua saludable financieramente, debe asumir y administrar de manera confiable la compleja tarea de proporcionar y administrar de manera segura el saneamiento para todos los ciudadanos dentro de su área de servicio.
- 3. Dilema o “Catch-22”** Una empresa de servicios públicos puede encontrarse frente al dilema de enfrentar expectativas “irresolubles”: invertir en mejores servicios en términos de calidad y cantidad, mientras tiene que hacer frente a una tarifa que ni siquiera cubre el costo operativo (a la vez que las transferencias e impuestos, las otras dos fuentes de ingresos para mejores servicios, están fuera de su alcance).
- 4. Externalidades** Los responsables de la formulación de políticas, los administradores, los operadores y los usuarios se ven afectados por factores cambiantes que normalmente se perciben como “externos”, es decir, aparentemente más allá de la esfera de influencia, como son el aumento del nivel del mar, aumento de la salinidad, patrones impredecibles de precipitación y sequías, impacto de tormentas tropicales y aumento de frecuencia y severidad de otros desastres naturales.
- 5. Oportunidad** El alto potencial para la autosuficiencia

energética, sin el legado de una infraestructura de alcantarillado voluminosa y costosa, es un buen punto de partida para la innovación y el cambio transformador hacia una mayor circularidad y hacia soluciones basadas en la naturaleza.

Nuevo paradigma para la prestación de servicios de agua y saneamiento

El clima está cambiando. De acuerdo con el concepto de “Límites Planetarios”, se han transgredido los límites de cinco de los nueve “sistemas de soporte de vida planetaria”: clima, biodiversidad, uso de la tierra y ciclos biogeoquímicos (a saber, fósforo y nitrógeno, véase figura 1). Las naciones del mundo, bajo el paraguas de la ONU, han acordado actuar bajo el Acuerdo Climático de París de 2015. De hecho, este consenso significa nada menos que reemplazar nuestro viejo paradigma de linealidad por el nuevo paradigma de circularidad, tanto para la producción como para el consumo:

- reemplazar la exploración, producción y quema de combustibles fósiles por la producción de energía renovable,
- reemplazar el consumo de agua dulce y la descarga de aguas “residuales” (que contaminan las aguas receptoras con compuestos orgánicos y nutrientes) con un enfoque circular del agua y el carbono/energía, así como adoptando patrones circulares de consumo y producción, como por ejemplo a través de la reutilización beneficiosa de nutrientes en horticultura y agricultura (véase grupo funcional R y X 1.2.1, p. 174).

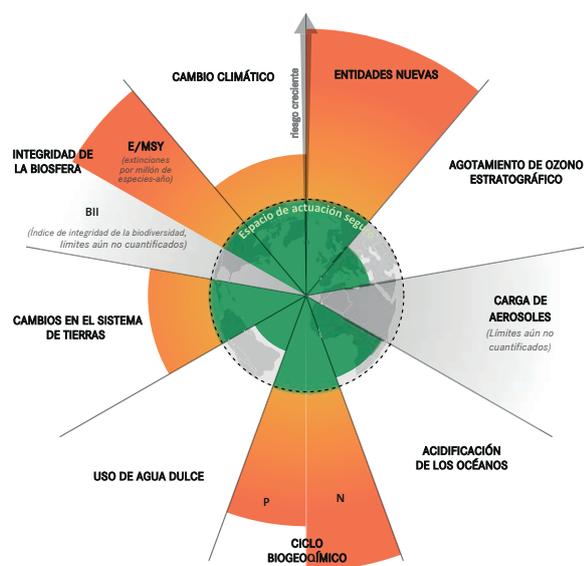


Figura 1: Cinco de los nueve límites planetarios transgredidos. Versión traducida de la ilustración diseñada originalmente por Azote para el Stockholm Resilience Centre, basada en el análisis en Persson et al. (2022) y Steffen et al. (2015).

El tiempo de la linealidad ha terminado. ¡Está en nuestras manos, no sí, sino qué tan rápido nos adaptamos y hacemos uso de la nueva normalidad! El agua y especialmente los servicios de saneamiento están en el centro de esto.

El conector clave y habilitador de cómo hacemos las cosas en todos los sectores incluidos en el nuevo paradigma, es el agua. Es esencial, no solo para cubrir las necesidades básicas y conservar los ecosistemas, sino también para producir alimentos y energía, y apoyar los medios de vida y la industria. También juega un papel en la vida espiritual y estética de miles de millones de personas. Por lo tanto, la gestión del agua no es solo un fin en sí mismo, sino que también debe gestionarse de manera sostenible para muchos otros usos en todos los sectores.

Este nuevo paradigma está profundamente arraigado en la estructura de este compendio, por ejemplo, al:

- visualizar el flujo de todos los recursos hasta su recuperación y reutilización gestionada de forma segura,
- fomentar la recuperación y reutilización de las aguas residuales,
- utilizar tecnologías que no consuman energía y otras que produzcan energía,
- utilizar tecnologías que mantienen los nutrientes fuera del océano y en la tierra, en el ciclo alimentario, así como
- utilizar tecnologías que remueven CO₂ de la atmósfera y lo fijan a las plantas a través de la carbonización, y lo almacenan en forma de biochar a largo plazo, por ejemplo, en el suelo (tecnología de emisión negativa).

Estructura y uso del compendio

Las dos primeras partes de este compendio están en línea con el anterior: **la parte 1, los esquemas de sistemas** y una descripción sobre cómo usarlas, y **la parte 2, las fichas tecnológicas**.

Se recomienda que el usuario del compendio revise primero las secciones **Terminología del compendio** (págs. 12 a 15) y **Uso de los esquemas de sistemas** (págs. 18 a 21) para familiarizarse con los términos clave y la estructura de los esquemas de sistemas, y sus componentes. A partir de eso, el usuario puede moverse entre los esquemas del sistema y las fichas tecnológicas (tienen referencias cruzadas) hasta que haya identificado los sistemas y/o tecnologías apropiados para una mayor investigación. Eventualmente, el usuario podrá desarrollar una o varias configuraciones de sistemas para presentarlas a la comunidad en el área de intervención. Siguiendo las sugerencias de la comunidad, el compendio puede usarse para reevaluar y rediseñar los sistemas según sea necesario.

El compendio es solo uno de los documentos disponibles para facilitar la toma de decisiones informadas, por parte de los diferentes actores involucrados en mejorar los servicios de san-

eamiento ambiental, por lo que debe usarse junto con otras publicaciones y herramientas disponibles. En las siguientes páginas se proporciona una descripción general de las herramientas complementarias de desarrollo del sector del saneamiento.

La selección de un sistema de saneamiento adecuado que combine las tecnologías de saneamiento más relevantes no obedece únicamente a consideraciones técnicas. Está influenciado por factores circundantes, tales como:

- el entorno local construido y natural sea superficial o subterráneo,
- megatendencias como el cambio climático y
- el llamado “entorno propicio”, que incluye
 - liderazgo político,
 - comunidades empoderadas,
 - regulación efectiva y rendición de cuentas

El tener en cuenta estos factores es clave para lograr la contextualización exitosa del compendio y la transferencia exitosa de soluciones probadas en otros lugares. Estos factores son abordados en una nueva **parte 3** de manera transversal, lo cual es esencial en la planificación y la toma de decisiones.

Es importante señalar que las partes interesadas regionales, incluidas las autoridades, las empresas de servicios públicos, las asociaciones profesionales y los líderes políticos de la Región del Gran Caribe, están plenamente conscientes de los factores mencionados anteriormente. En respuesta, han demostrado liderazgo colectivo y visión estratégica al desarrollar y adoptar un marco de acción compartido: el “Plan de Acción Estratégico Regional para el Sector del Agua en el Caribe para Desarrollar Resiliencia a los Impactos del Cambio Climático” (RSAP). Los planes de implementación anuales aseguran que el RSAP sea monitoreado y actualizado. El 2.º plan de implementación (2021) lo resume en pocas palabras: “para tener éxito, el RSAP requerirá que las partes interesadas en todos los niveles superen el *status quo*”.

La **parte 3** adopta los elementos estratégicos del RSAP (pilares fundamentales, objetivos y de apoyo) capítulo por capítulo, asignando elementos de planificación e información apropiados a cada uno.

Otro aspecto esencial es el esfuerzo por responder a la demanda de las partes interesadas durante la preparación de este compendio, agregando estudios de caso que complementan la lógica bien estructurada del compendio con una buena dosis de “ver, sentir y tocar”. El resultado puede verse plasmado en la **parte 4**.

Compendio complementarios y herramientas de desarrollo del sector saneamiento

En los últimos años, se han publicado una serie de documentos que complementan este trabajo y se suman al creciente cuerpo de materiales de referencia y guías prácticas de tecnología sostenible. Algunos se presentan a continuación:

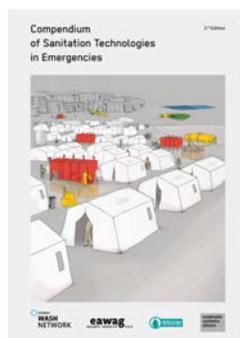


Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento, 2.ª Edición *Una herramienta de planificación para tomar decisiones más informadas*

Esta segunda edición revisada del compendio presenta una gran variedad de información sobre sistemas y tecnologías de saneamiento en un solo volumen. Las tecnologías probadas y comprobadas se ordenan y estructuran en un documento conciso.

La parte 1 describe diferentes configuraciones del sistema para una variedad de contextos; La parte 2 consta de 57 fichas de información sobre diferentes tecnologías, que describen las principales ventajas, desventajas, aplicaciones y la idoneidad de las tecnologías requeridas para construir un sistema integral de saneamiento. Cada ficha técnica se complementa con una ilustración descriptiva. Disponible también en inglés y francés.

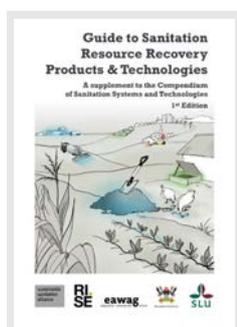
Por Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R. y Zurbrügg, C. (2014). Eawag (Sandec), IWA, WSSCC. PDF gratuito disponible en: www.sandec.ch/compendium



Compendium of Sanitation Technologies in Emergencies *(Compendio de tecnologías de saneamiento en emergencias)*

Este compendio amplía el alcance del compendio inicial de Sandec (arriba) al campo de la ayuda humanitaria. No solo cubre una gama más amplia de tecnologías aplicables a las diferentes fases de una emergencia, sino que también brinda una descripción general de los temas transversales clave que influyen en la selección de tecnologías y respaldan la implementación en estos contextos. Es un manual completo, estructurado y fácil de usar. Recopila, en un solo documento, una amplia gama de información sobre tecnologías probadas, y brinda una descripción sistemática de las tecnologías de saneamiento existentes y emergentes. Además, brinda información concisa sobre los criterios de decisión clave para cada tecnología, lo que facilita la combinación de tecnologías para generar soluciones completas de sistemas de saneamiento, todas vinculadas a temas transversales relevantes. Disponible también en francés: www.emersan-compendium.org/fr/

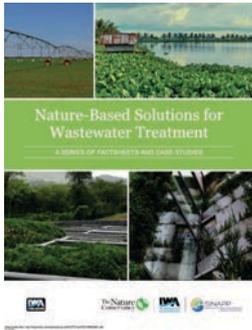
Por Gensch, R., Jennings, A., Renggli, S., Reymond, P. (2018). Red WASH alemana y Eawag (Sandec). PDF gratuito disponible en: www.emersan-compendium.org/en/



Guide to Sanitation Resource Recovery Products & Technologies *(Guía de productos y tecnologías de recuperación de recursos de saneamiento)*

Este manual proporciona una descripción general de las posibilidades de recuperación de recursos del saneamiento y brinda orientación sobre los procesos de tratamiento para lograr productos seguros para su reutilización. El enfoque de este documento está en la recuperación de recursos a partir de los residuos orgánicos manejados en los sistemas de saneamiento y, en menor medida, en la recuperación de agua y la generación de energía. Los sistemas de saneamiento de recuperación de recursos se definen como sistemas que reciclan de manera segura las excretas y los desechos orgánicos, mientras minimizan el uso de recursos no renovables como el agua y los productos químicos. El reciclaje seguro significa que los flujos de residuos se gestionan de manera que se minimicen los riesgos físicos, microbianos y químicos.

Por McConville, J., Niwagaba, C., Nordin, A., Ahlström, M., Namboozo, V. y Kiffe, M. (2020). Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas (SLU), Departamento de Energía y Tecnología. PDF gratuito disponible en: <https://pub.epsilon.slu.se/21284/>



Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment

(Soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales)

Si bien existe un interés creciente en las soluciones de saneamiento de bajo costo que aprovechan los sistemas naturales, puede ser difícil para los administradores de servicios públicos de aguas residuales comprender en qué condiciones podrían aplicarse tales soluciones basadas en la naturaleza (SbN o NBS por sus siglas en inglés) y cuál es la mejor manera de combinar la infraestructura tradicional, por ejemplo, una planta de tratamiento de lodos activados, con un SbN como humedales de tratamiento. Este documento sirve como una compilación de referencias técnicas, ejemplos de casos y orientación para aplicar SbN para el tratamiento de aguas residuales domésticas, y permite que una amplia variedad de partes interesadas comprendan los parámetros de diseño, las eficiencias de eliminación, los costos, los beneficios colaterales tanto para las personas como para la naturaleza y compensaciones para su consideración en su contexto local.

Por Cross, K., Tondera, K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., Karres, N., McDonald, R. (Eds.) (2021). Editorial IWA. PDF gratuito disponible en: <https://iwaponline.com/ebooks/book/834/Nature-Based-Solutions-for-Wastewater-TreatmentA>



Manejo de lodos fecales

Un enfoque sistémico para su implementación y operación

Este es el primer libro que recopila el estado actual del conocimiento sobre la gestión de lodos fecales. Aborda la organización de toda la cadena de servicios de gestión de lodos fecales, desde la recolección y transporte de lodos, hasta el estado actual del conocimiento de las opciones de tratamiento, y el uso final o disposición final de los lodos tratados. Presenta un enfoque integrado que reúne tecnología, gestión y planificación, basado en los 20 años de experiencia de Sandec en el campo. También analiza los factores importantes a considerar, al evaluar y mejorar las nuevas opciones de tecnología de tratamiento. El libro está diseñado para estudiantes de pregrado y posgrado, ingenieros y profesionales en el campo que tienen algún conocimiento básico de ingeniería ambiental y/o de aguas residuales. Por Strande, L., Ronteltap, M. y Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). Editorial IWA. PDF gratuito disponible en: www.sandec.ch/fsm_book (también disponible en inglés y francés)



La siguiente herramienta en línea brinda una guía útil y recursos descargables que complementan los documentos enumerados anteriormente.

Gestión sostenible del agua y el saneamiento con foco en las zonas rurales en español: <https://sswm.info/es/perspective/gestion-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-zonas-rurales-de-mexico>

Caja de herramientas de saneamiento sostenible y gestión del agua

SSWM Toolbox es la colección más completa de herramientas y enfoques disponibles para la gestión del agua y el saneamiento sostenible. Combina herramientas y software de planificación y los vincula con publicaciones, artículos y enlaces web, estudios de caso y material de capacitación. Disponible en: www.sswm.info

Terminología del compendio

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 reúso y/o disposición final. Un **sistema de saneamiento** está conformado por una serie de tecnologías y servicios específicos para cada contexto, para el manejo de estos residuos (o recursos), es decir, para su recolección, almacenamiento, transporte, transformación, uso o disposición final. Un sistema de saneamiento está compuesto por **productos** (desechos/recursos) 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 seis diferentes esquemas de sistemas de saneamiento. En la sección “Uso de los esquemas de sistema”, 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, orina y heces); otros se requieren dentro del funcionamiento de tecnologías (por ejemplo, agua de arrastre para mover las excretas por las alcantarillas), y algunos se generan en función del almacenamiento o tratamiento (por ejemplo, lodos). Para diseñar un sistema de saneamiento sólido, es necesario definir todos los productos que entran (afluentes) y salen (efluentes) de cada una de las tecnologías de saneamiento del sistema. A continuación, se describen los productos mencionados en este texto.

 El **agua de limpieza anal** es el agua utilizada para limpiarse uno mismo después de defecar y/u orinar; es generada por quienes usan el agua, en lugar de material seco para limpieza anal. El volumen de agua usado para la limpieza oscila generalmente entre 0,5 y 3 litros.

 El **biochar** es un material sólido obtenido a partir de la carbonización, la conversión termoquímica de la biomasa en un ambiente con oxígeno limitado. El biochar derivado

de la carbonización de lodos, heces o residuos orgánicos, puede aplicarse a los suelos para mejorar sus propiedades y el rendimiento de los cultivos, además de actuar como sumidero de carbono para reducir los impactos del cambio climático.

 El **biogás** es el nombre común de la mezcla de gases liberados por la digestión anaerobia. El biogás está compuesto de metano (50 a 75 %), dióxido de carbono (25 a 50 %) y cantidades variables de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, 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 las plantas o animales cultivados usando el agua o los nutrientes que fluyen a través de un sistema de saneamiento. El término biomasa puede incluir peces, insectos, vegetales, frutos, forrajes u otros cultivos beneficiosos que pueden ser utilizados para la producción de alimentos, forraje, fibra y combustible.

 Las **aguas negras** son una combinación de orina, heces y/o agua de arrastre junto con agua de limpieza anal (si se usa agua para la limpieza) y/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 con el agua de arrastre.

 Las **aguas cafés** son una mezcla de heces y agua de arrastre, pero que no contienen orina. Son generadas por los inodoros de arrastre con desviación de orina (U.3) 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, solo se diluye por el agua de arrastre. Las aguas cafés también pueden incluir el agua de limpieza anal (si se usa agua para la limpieza) o materiales secos de limpieza (véase figura 1).

 El **compost** es la materia orgánica descompuesta que resulta de un proceso controlado de degradación aerobia. En este proceso biológico los microorganismos (sobre todo, bacterias y hongos) descomponen los componentes biodegradables de los desperdicios y producen un material café negruzco, sin olor y parecido a la tierra. En general, las excretas o el lodo deben compostarse bajo condiciones termofílicas (hasta los 65 °C) y durante un tiempo suficiente (más de 4 meses) para que se higienicen lo suficiente para su uso agrícola seguro. En estas condiciones, normalmente se puede conseguir una considerable reducción de patógenos.



Figura 1: Posibles afluentes en la cadena de servicios de saneamiento. Nótese que varios procesos de tratamiento también pueden incorporar otros residuos orgánicos (por ejemplo, residuos de alimentos, estiércol animal y fracciones orgánicas de procesos industriales)

El compost posee excelentes propiedades de acondicionamiento del suelo y un contenido variable de nutrientes. Tiene materia orgánica todavía degradable y se transforma en el suelo lentamente en humus, que está conformado por componentes orgánicos relativamente estables formados por sustancias húmicas, entre las que se encuentran los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos, los ácidos himatomelánicos y huminas (todas sustancias macromoleculares basadas en el carbono). Durante el proceso de descomposición, se liberan lentamente los nutrientes que quedan a disposición de las plantas.

Las **heces secas** son heces 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 y/o la presencia de material absorbente. Durante la deshidratación ocurre muy poca degradación, lo que significa que las heces secas continúan siendo ricas en materia orgánica. Sin embargo, su volumen se reduce en un 75 % durante la deshidratación y la mayoría de los patógenos mueren. Existe un pequeño riesgo de que algunos organismos patógenos puedan reactivarse bajo ciertas condiciones, particularmente en ambientes húmedos.

Los **materiales secos de limpieza** son materiales sólidos utilizados para limpiarse uno mismo después de defecar y/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. Los productos para la higiene menstrual como las toallas higiénicas y tampones, no se incluyen en este compendio. En general (aunque no siempre), deben ser recolectados y dispuestos como residuos sólidos.

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 y su uso posterior, el efluente puede cumplir con las normas de reúso o disposición, o puede requerir de tratamiento adicional.

Las **excretas** consisten en orina y heces que no están mezcladas con el agua de arrastre. Poseen un volumen reducido, pero concentran nutrientes y patógenos. Dependiendo de la calidad de las heces, tiene una consistencia blanda o líquida. Una persona produce alrededor de 350 a 600 l por año, siendo la suma de orina y heces.

Las **heces** se refieren al excremento (semisólido) que no está mezclado con la orina o el agua. Dependiendo de la dieta, cada persona produce aproximadamente 50 l por año de materia fecal. Las heces frescas contienen de 70 a 80 % de agua. Del total de nutrientes excretados, las heces de una persona excretadas a lo largo de un año contienen un promedio de 0,6 kg de nitrógeno (N), 0,2 kg de fósforo (P) y 0,3 kg de potasio (véase K, Rose et al., 2015). Las heces pueden contener un gran número de patógenos.

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

Agua gris es el volumen total de agua generado por el lavado de alimentos, ropa y vajilla, así como por el baño y la ducha, pero no incluye el material procedente de

los inodoros. Puede contener rastros de excremento (por ejemplo, por lavado de pañales) y, por lo tanto, también patógenos. Los patógenos también pueden proceder de los residuos de alimentos. Las aguas grises representan aproximadamente 65 % de las aguas residuales producidas en las viviendas con inodoros.

El término **orgánico** (organics en inglés) se refiere al material vegetal biodegradable (desperdicios orgánicos) que debe agregarse a algunas tecnologías con el fin de que funcionen correctamente (por ejemplo, co-compostaje, T.17). La materia orgánica degradable puede incluir, pero no limitarse a, hojas, hierba y desperdicios de 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. 76). Las sustancias como grasas, aceites y varios sólidos (por ejemplo, arena, fibras y basura) pueden afectar el transporte y/o la eficiencia de 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.

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 del sector, p. 9). Los lodos de aguas residuales (también denominados lodos de depuradora) son lodos originados en la recolección de aguas residuales de alcantarillas y en procesos de tratamiento semicentralizados. La composición de los lodos determinará el tipo de tratamiento que se requiere y las posibilidades de uso final.

La **orina almacenada** es orina que ha sido hidrolizada de manera natural a lo largo del 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 de patógenos se reduce de modo considerable.

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

La **orina** es el líquido producido por el cuerpo para deshacerse de la urea y de otros productos de desecho. En este contexto, el producto 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 (aprox. 300 a 550 L) contiene de 3 a 4 kg de nitrógeno (N), 0,3 kg de fósforo (P) y 0,7 kg de potasio (véase K, Rose et al., 2015). En la orina se excretan pocos patógenos; sin embargo, la orina puede contaminarse con heces en los sistemas de saneamiento con desviación de orina.

Las **aguas residuales** se definen normalmente como la mezcla de excretas y toda el agua utilizada, por ejemplo, excretas, agua de arrastre, materiales de limpieza y aguas grises, las cuales son recolectadas en tanques contenedores o a través de una red de alcantarillado. Estas contienen los patógenos de las heces y los nutrientes de la orina, diluidos con grandes volúmenes de agua de las aguas grises. Las aguas residuales de múltiples fuentes, incluidos los edificios domésticos e industriales, suelen recolectarse juntas. En algunos casos, las aguas residuales se mezclan con las aguas pluviales durante su transporte a la planta de tratamiento.

Grupos Funcionales

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

Los cinco grupos funcionales son:

- U Interfaz con el usuario** (Tecnologías U.1-U.4): rojo
- S Recolección y almacenamiento/tratamiento** (Tecnologías S.1-S.6): naranja
- C Conducción** (Tecnologías C.1-C.5): amarillo
- T Tratamiento (semi)centralizado** (Tecnologías PRE, T.1-T.19, POST): verde
- R Réuso y/o disposición final** (Tecnologías R.1-R.12): azul

Cada grupo funcional tiene asignado un color distinto, las tecnologías dentro de un grupo funcional determinado comparten el mismo código de color para que sean fácil-

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

U La **interfaz con el usuario (U)** describe el tipo de inodoro, pedestal, bandeja o urinario con el que el usuario entra en contacto; es la forma en que el usuario accede al sistema de saneamiento. En muchos casos, la elección de la interfaz con el usuario dependerá de la disponibilidad de agua. Tenga en cuenta que las aguas grises y las aguas pluviales no se originan en la interfaz con el usuario, pero pueden ser tratadas junto con los productos que se originan en ella.

S La **recolección y almacenamiento/tratamiento (S)** describe las formas de recolectar, almacenar y, a veces, tratar los productos generados en la interfaz con el usuario. El tratamiento proporcionado por estas tecnologías suele estar en función del almacenamiento y ser usualmente pasivo (por ejemplo, no requiere aporte de energía). Por lo tanto, los productos “tratados” por estas tecnologías a menudo requieren un tratamiento posterior antes de su reúso y/o disposición final.

C La **conducción (C)** describe el transporte de productos de un grupo funcional a otro. Aunque los productos pueden necesitar ser transferidos de varias maneras entre los grupos funcionales, la distancia más larga e importante es la que existe entre la interfaz con el usuario o la recolección y el almacenamiento/tratamiento y el tratamiento (semi)centralizado. Por lo tanto, para simplificar, el transporte solo describe las tecnologías utilizadas para transportar productos entre estos grupos funcionales.

T El **tratamiento (semi)centralizado (T)** se refiere a las tecnologías de tratamiento que suelen ser apropiadas para grandes grupos de usuarios (es decir, aplicaciones a nivel del barrio o ciudad). Los requisitos de operación, mantenimiento y energía de las tecnologías de este grupo funcional generalmente son mayores que los de las tecnologías de menor escala del nivel S. Las tecnologías se dividen en dos grupos: del T.1-T.13 son principalmente para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes, mientras que del T.14-T.19 son principalmente para el tratamiento de lodos. También se describen las tecnologías de pretratamiento y postratamiento (fichas tecnológicas PRE y POST).

R El **reúso y/o disposición final (R)** se refiere a los métodos mediante los cuales los productos se devuelven finalmente al medio ambiente, ya sea como recursos útiles o como materiales de riesgo reducido. Además, los productos también pueden volver a introducirse en un sistema (por ejemplo, mediante el uso de aguas grises tratadas como agua de arrastre para el inodoro). A diferencia de la 2.^a edición del compendio Eawag, que se refiere al final de la cadena de servicios como grupo funcional **D** uso y/o disposición final, esta edición se refiere a este grupo como **R** reúso y/o disposición final, destacando la importancia del reúso.

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 48 tecnologías incluidas en este compendio se describen en las fichas tecnológicas (parte 2). Hay entre cuatro y 19 tecnologías diferentes (21 incluidas PRE y POST) dentro de cada uno de los cinco grupos funcionales. Solamente se incluyen las tecnologías de saneamiento que han sido probadas y comprobadas 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 un 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 y disponibles. En la sección “Tecnologías de saneamiento emergentes” (p. 147-155) se presentan ejemplos de los desarrollos más interesantes y prometedores con un alto potencial de aplicación en países de ingreso medio y bajo. Se espera que algunas de estas tecnologías se incluyan como fichas tecnológicas en una futura edición del compendio. Este compendio aborda principalmente los sistemas y las tecnologías directamente relacionadas con las excretas, sin abordar específicamente el manejo de las aguas grises o aguas pluviales, aunque se muestra cuando estas aguas 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 los sistemas y tecnologías para aguas grises, consulte el siguiente recurso: Morel et al. (2006).

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 238

Un esquema de sistemas define un conjunto de combinaciones de tecnologías compatibles y probadas, 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 interfaz con el usuario y el reúso y/o disposición final, y comparar las diferentes opciones que están disponibles 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.

Tras un proceso de consulta en la fase de concepción de este compendio, surgieron seis esquemas de sistemas diferentes que son relevantes para los servicios públicos en la Región del Gran Caribe. Éstos van desde sencillos (con pocas opciones tecnológicas y productos) hasta complejos (con múltiples opciones tecnológicas y productos). Cada esquema de sistemas es distinto en cuanto al número de productos que genera y procesa. Los seis esquemas de sistemas son los siguientes:

- Sistema 1: Sistema de aguas negras con infiltración de efluentes *in situ* y tratamiento de lodos fuera del sitio
- Sistema 2: Sistema de aguas negras con producción de lodos *in situ* y tratamiento de efluentes/lodos fuera del sitio
- Sistema 3: Sistema de tanque de retención con transporte motorizado para el tratamiento fuera del sitio
- Sistema 4: Sistema de alcantarillado sin almacenamiento *in situ*
- Sistema 5: Sistema de alcantarillado con desviación de orina y transporte para aplicación externa de orina
- Sistema 6: Sistema basado en contenedores con desviación de orina y transporte para tratamiento externo

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 aplicar combinaciones de tecnologías distintas a 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 (espacio, topografía, temperatura, precipitación, etcétera), la cultura (personas que prefieren sentarse o ponerse en cuclillas en el inodoro; lavarse o limpiarse, etcétera) y de 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 debe mantenerse normalmente sin importar cuántos de ellos se incluyan en el sistema de saneamiento. Las figuras 2 y 3 explican la estructura y los elementos de un esquema de sistemas.

Figura 2: Explicación de las diferentes columnas en un esquema de sistemas

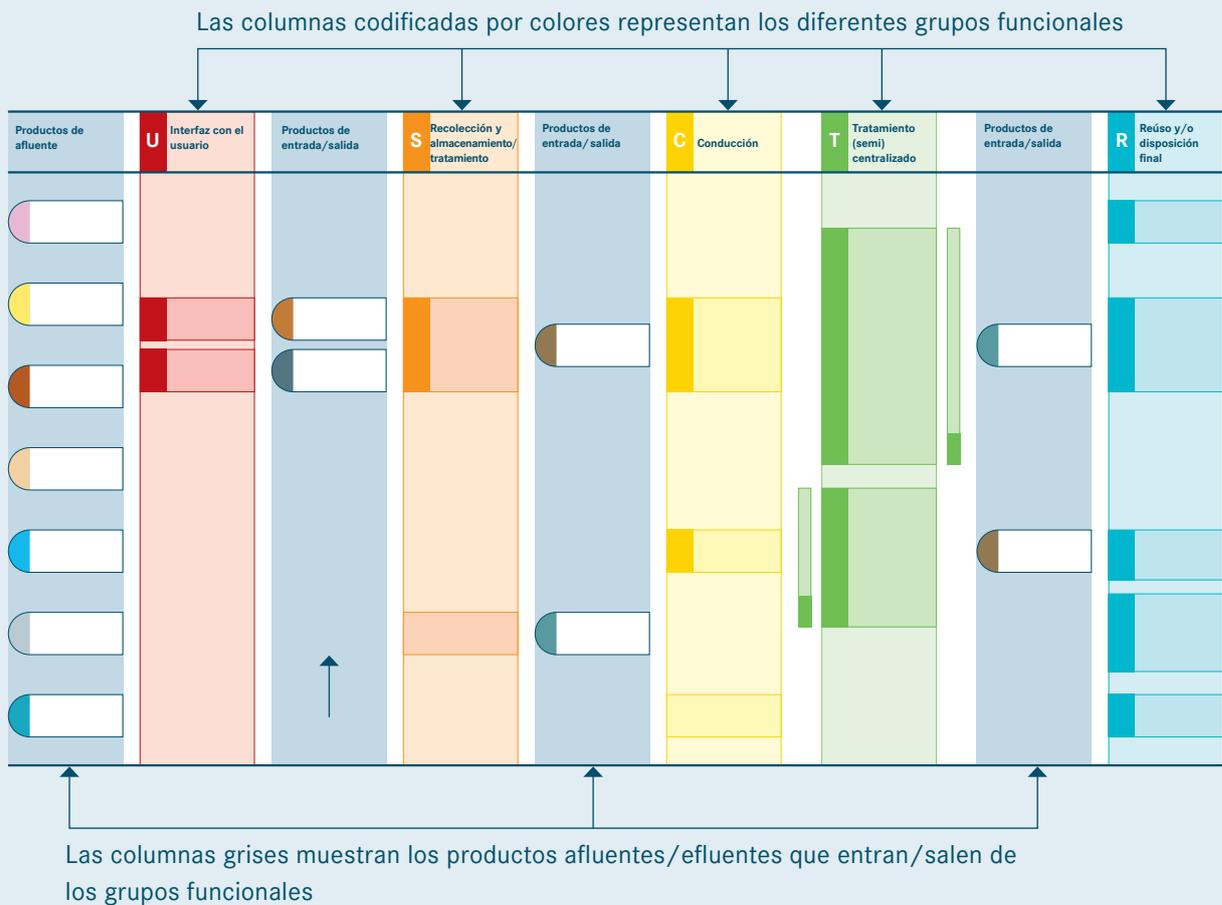


Figura 3: Explicación de los diferentes elementos gráficos en un esquema de sistema

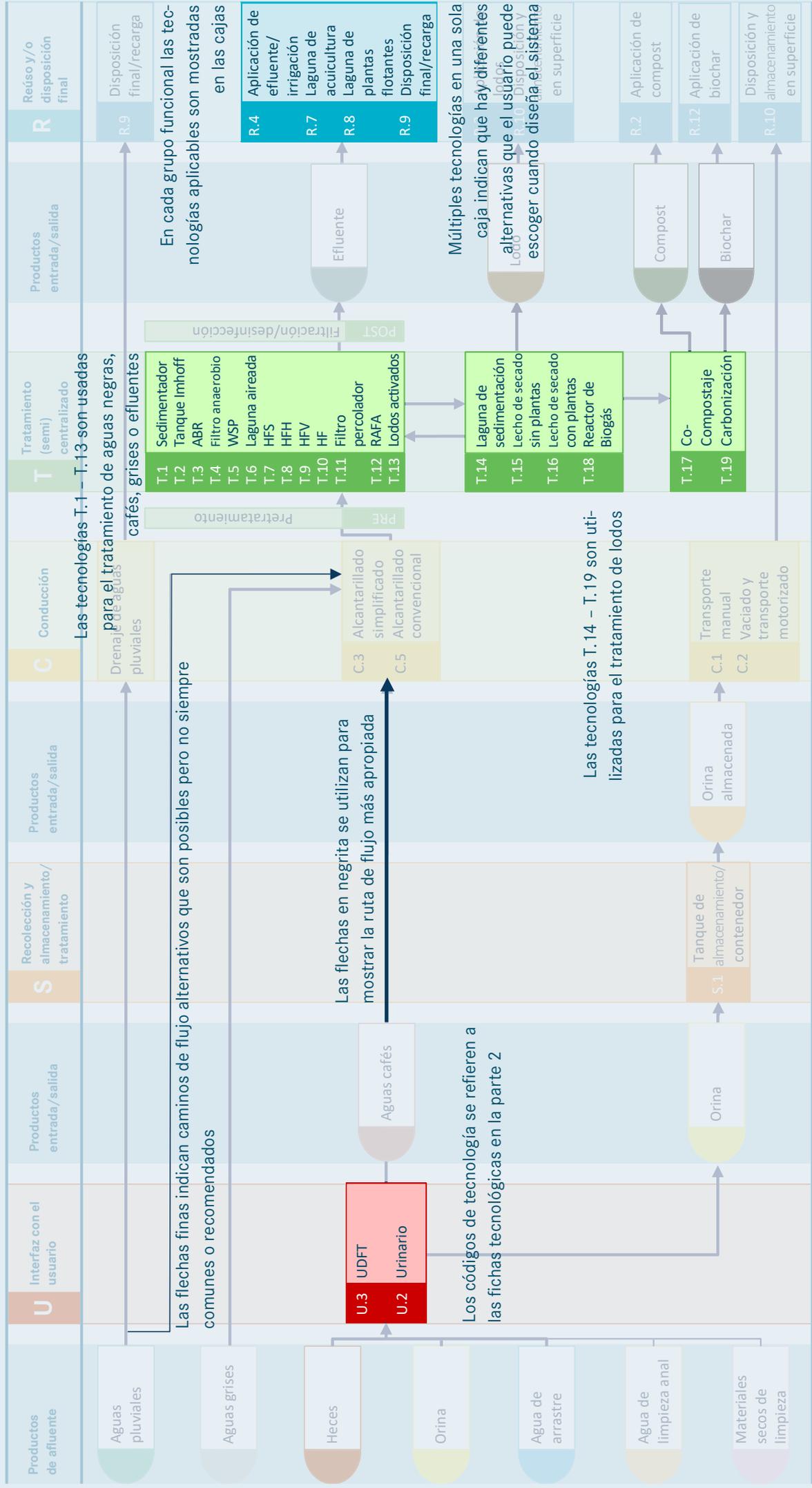
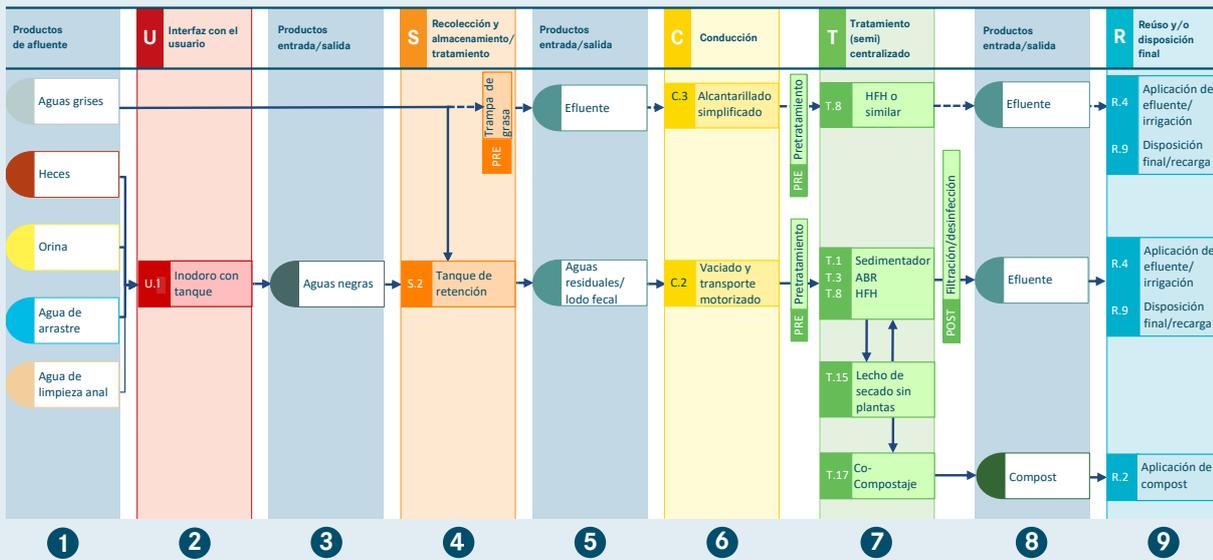


Figura 4: Ejemplo de cómo entran y se transforman los afluentes en los grupos funcionales



La figura 4 es un ejemplo de un esquema de sistemas. Muestra cómo cinco productos (aguas grises, heces, orina, agua de arrastre y materiales secos de limpieza) entran a un sistema y se gestionan utilizando diferentes tecnologías de saneamiento. El siguiente texto describe cómo se mueven los productos de izquierda a derecha por las columnas 1–9 del esquema de sistemas.

Cuatro productos 1 (heces, orina, agua de arrastre y materiales secos de limpieza) entran 2 en el grupo funcional U “Interfaz con el Usuario” (inodoro con tanque). Las aguas negras generadas 3 entran luego 4 en el grupo funcional S “Recolección y almacenamiento/tratamiento” (tanque de retención). El tanque de retención es una tecnología de almacenamiento y contención segura, pero no de tratamiento. Diluida por las aguas grises, la salida se convierte en aguas residuales/lodos fecales 5 entrando 6 en el grupo funcional C “Conducción” (vaciado y transporte motorizado) y es conducida 7 al grupo funcional T “Tratamiento (semi)centralizado”. Después del pretratamiento, tres tecnologías de tratamiento consecutivas (primero un sedimentador, luego un reactor anaerobio con deflectores, o ABR por sus siglas en inglés, seguido por un humedal de flujo horizontal) procesan y separan los sólidos de la fase líquida y transforman las aguas negras entrantes en efluentes líquidos y lodos como dos productos distintos. Este último se procesa en el sitio utilizando 7 lechos de secado sin plantas seguidos de co-compostaje como cuarta y quinta tecnología. A continuación del postratamiento, el efluente como salida es 8 conducido hacia 9 el grupo funcional final R “Reúso y/o disposición final”, donde existen dos posibilidades. Dependiendo del volumen y de la temporada, el efluente puede reutilizarse en sistemas de irrigación,

o descargarse/infiltrarse para su disposición final en cuerpos de agua/recarga de acuíferos. Dependiendo de las condiciones locales, las necesidades y las preferencias, el 8 compost madurado puede ser aplicado directamente en la producción de hortalizas, agricultura o el reverdecimiento urbano como acondicionador de suelos, o empacado en bolsas y almacenado temporalmente para su comercialización, por ejemplo, para su uso en jardines caseros (aplicación del compost).

Si existe la posibilidad de coleccionar 1 las aguas grises por separado, éstas deben recuperarse y tratarse para su reutilización (dentro o fuera del sitio). El sistema de tuberías separadas debe incluir un 4 pretratamiento *in situ*, como una trampa de grasa, para evitar la obstrucción ocasionada por las grasas de cocina. El 5 efluente es 6 conducido al 7 grupo funcional T. Después del tratamiento, incluyendo en este caso el pretratamiento seguido de un humedal de flujo horizontal, el 8 efluente puede 9 reutilizarse en sistemas de irrigación o descargarse/infiltrarse para su disposición final en cuerpos de agua/recarga de acuíferos. En todos los sistemas, la recolección separada de las aguas grises es de particular interés para las nuevas urbanizaciones. Aun cuando la reutilización no pueda llevarse a cabo inmediatamente, ésta sigue siendo una opción valiosa para futuras mejoras.

Pasos para seleccionar las opciones de saneamiento utilizando los esquemas de sistemas

Los seis 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 la ingeniería para encontrar la mejor solución posible para 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 propio (especialmente, factores como habilidades y capacidades, aceptación sociocultural, recursos financieros y requisitos legales). El siguiente procedimiento puede utilizarse para preseleccionar posibles opciones de saneamiento:

1. Identificar los productos que se generan localmente y/o están disponibles (por ejemplo, agua de limpieza anal, el agua de arrastre o productos orgánicos para el compostaje).
2. Identificar los esquemas de sistemas que procesen los productos definidos.
3. Para cada esquema, seleccionar una o varias tecnologías de cada grupo funcional en el que se presente una opción tecnológica (caja con múltiples tecnologías); la serie de tecnologías conforman un sistema.
4. Comparar los sistemas y cambiar iterativamente las tecnologías individuales o utilizar un esquema de sistema diferente en función a las prioridades de los usuarios, la demanda de productos finales específicos (por ejemplo, el compost), las limitaciones económicas y la factibilidad técnica.

Puede ser útil dividir la zona de planificación considerada en sub áreas para que cada una de ellas tenga características y condiciones similares. Entonces, se puede seguir el procedimiento para cada una de las diferentes sub-áreas 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.

En la “Parte 3: Criterios transversales para la planificación y la toma de decisiones” se proporcionan otros criterios y aspectos valiosos relevantes para el proceso de planificación. En la página www.sandec.ch/compendium se puede descargar un esquema de sistema en blanco. Este puede ser impreso y usado para esbozar sistemas de saneamiento específicos para un lugar (por ejemplo, cuando se analizan diferentes opciones con expertos o interesados en un taller).

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

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

En la 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).

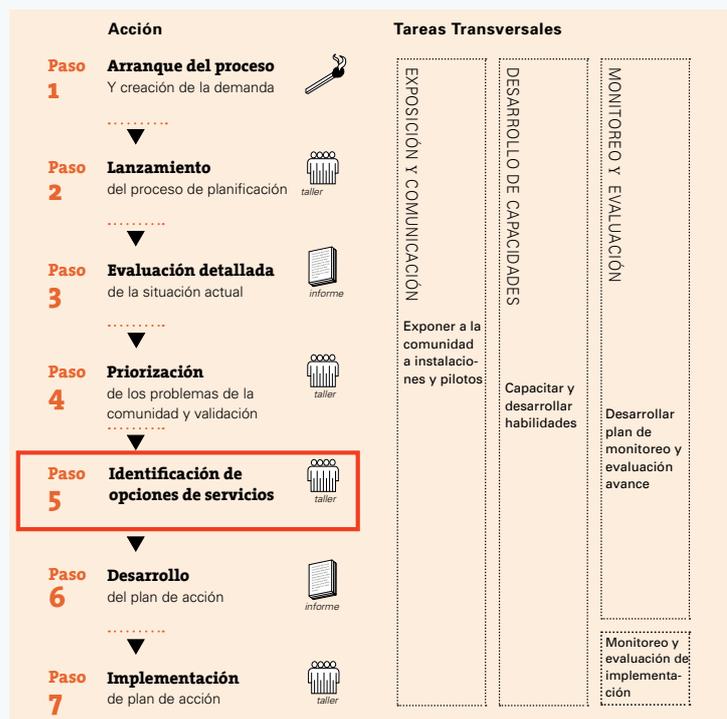
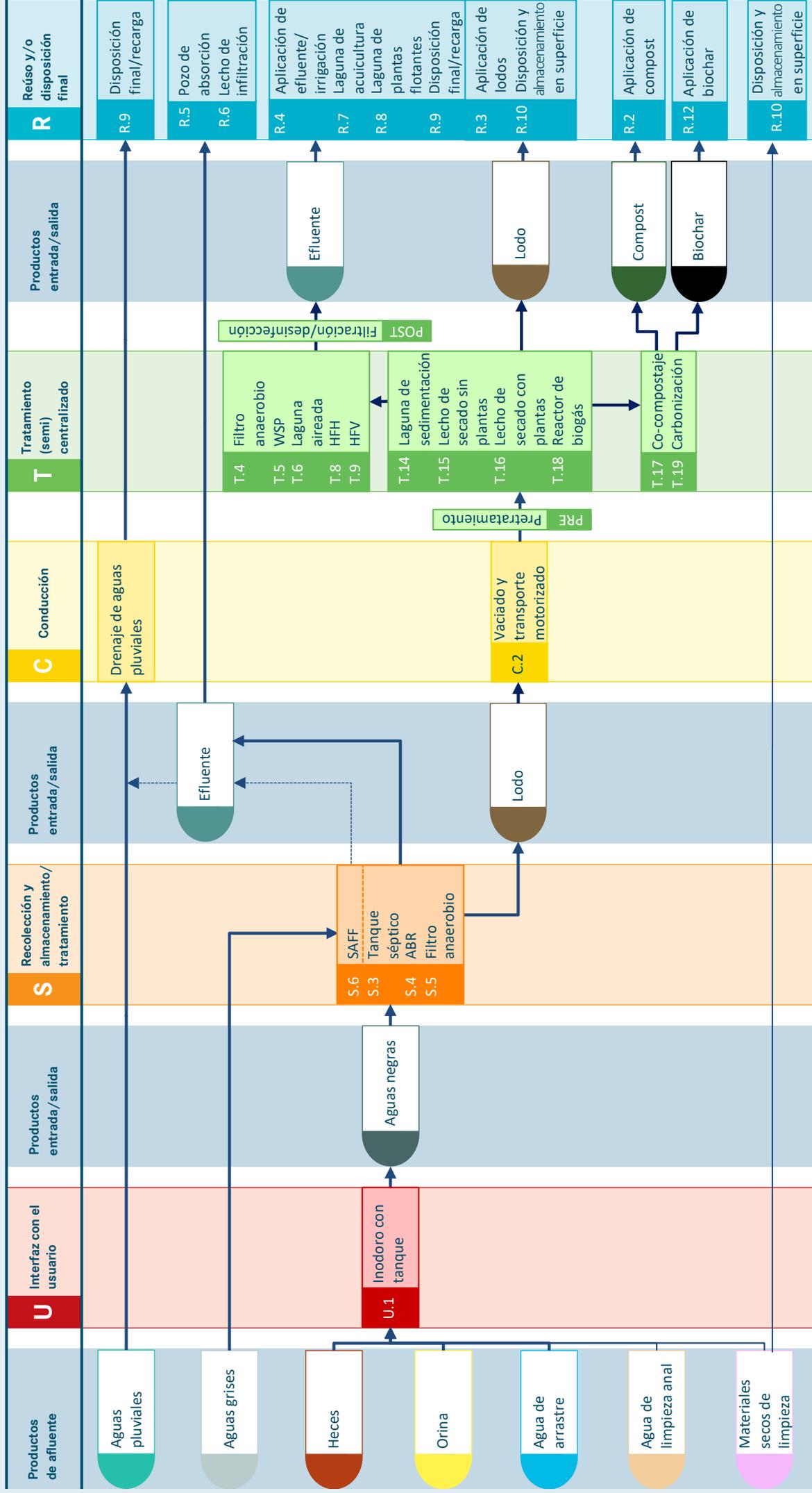


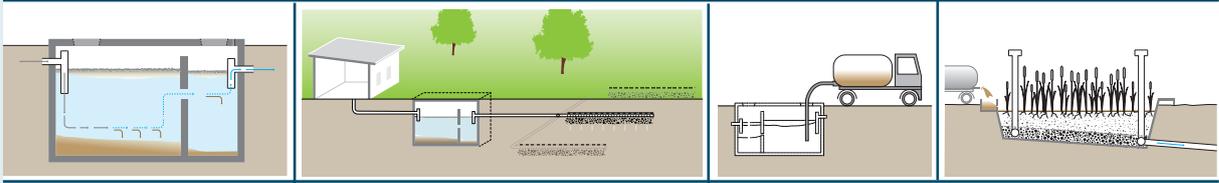
Figura 5: Los siete pasos de CLUES

Sistema I:

Sistema de aguas negras con infiltración *in situ* y tratamiento de lodos fuera del sitio



Sistema 1: Sistema de aguas negras con infiltración de efluentes *in situ* y tratamiento de lodos fuera del sitio



Se trata de un sistema que funciona con agua y requiere un inodoro 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. Un inodoro con tanque (U.1) es usado como tecnología de interfaz. Al igual que en el resto de sistemas, se podría utilizar adicionalmente un urinario (U.2), pero no fue incluido en este sistema. La interfaz con el usuario está directamente conectada a una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento de las aguas negras, convirtiéndose en aguas residuales si también se conectan las aguas grises. Las tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento son un tanque séptico (S.3), un reactor anaerobio con deflectores (ABR, S.4), un filtro anaerobio (S.5) o un filtro de película fija aireado sumergido (SAFF, S.6). Los procesos anaerobios (S.3-S.5) proporcionan una reducción inicial de la carga orgánica y, en menor medida, de la carga de patógenos. Los procesos aerobios (S.6) reducen aún más ambas cargas. Sin embargo, para la aplicación segura del efluente en jardines y terrenos cercanos, se deben seguir y respetar las medidas de protección apropiadas, de acuerdo a las directrices de la OMS para el uso seguro del efluente en la agricultura.

Si las condiciones del suelo y las aguas subterráneas lo permiten, el efluente generado en la recolección y almacenamiento/tratamiento puede ser directamente desviado al suelo para su infiltración a través de un pozo de absorción (R.5) o un lecho de infiltración (R.6). Aunque no se recomienda, el efluente también puede ser descargado en la red de drenaje de aguas pluviales para la disposición final del agua/recarga de acuíferos (R.9). Esto sólo debe considerarse si se mejora el tratamiento *in situ* (por ejemplo, reequipando un tanque séptico (S.6) y/o aplicando un postratamiento/sanitización adicional (POST), y si no hay capacidad de infiltración *in situ* o de transporte fuera del sitio (véanse las consideraciones que figuran a continuación).

Los lodos generados por las tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento deben ser retirados y transportados para su posterior tratamiento. La tecnología de transporte que se puede utilizar es el vaciado y transporte motorizado (C.2). Como los lodos pueden contener una alta carga de patógenos antes del tratamiento, se debe evitar el contacto humano y la aplicación agrícola directa. Los lodos

retirados deben ser transportados a una planta de tratamiento de lodos (T.14-T.19).

Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado (T.1-T.19) producen tanto efluentes como lodos, que podrían requerir tratamiento adicional antes de su uso y/o disposición final. Por ejemplo, el efluente de una planta de tratamiento de lodos podría ser tratado junto con las aguas residuales en un filtro anaerobio (T.4), lagunas de estabilización (T.5), lagunas aireadas (T.6) o humedales (T. 8-T.9).

Las opciones para el reúso y/o disposición final de efluentes tratados incluyen aplicación de efluente/irrigación (R.4), lagunas de acuicultura (R.7), lagunas de plantas flotantes (R.8) o descarga a un cuerpo receptor (disposición final del agua/recarga de acuífero, R.9). Tras un tratamiento adecuado, los lodos pueden utilizarse directamente en la agricultura (R.3), llevarse a un lugar para su almacenamiento/disposición (R.10) o convertirse en productos de valor añadido como el compost o el biochar mediante otras tecnologías (T.17 y T.19).

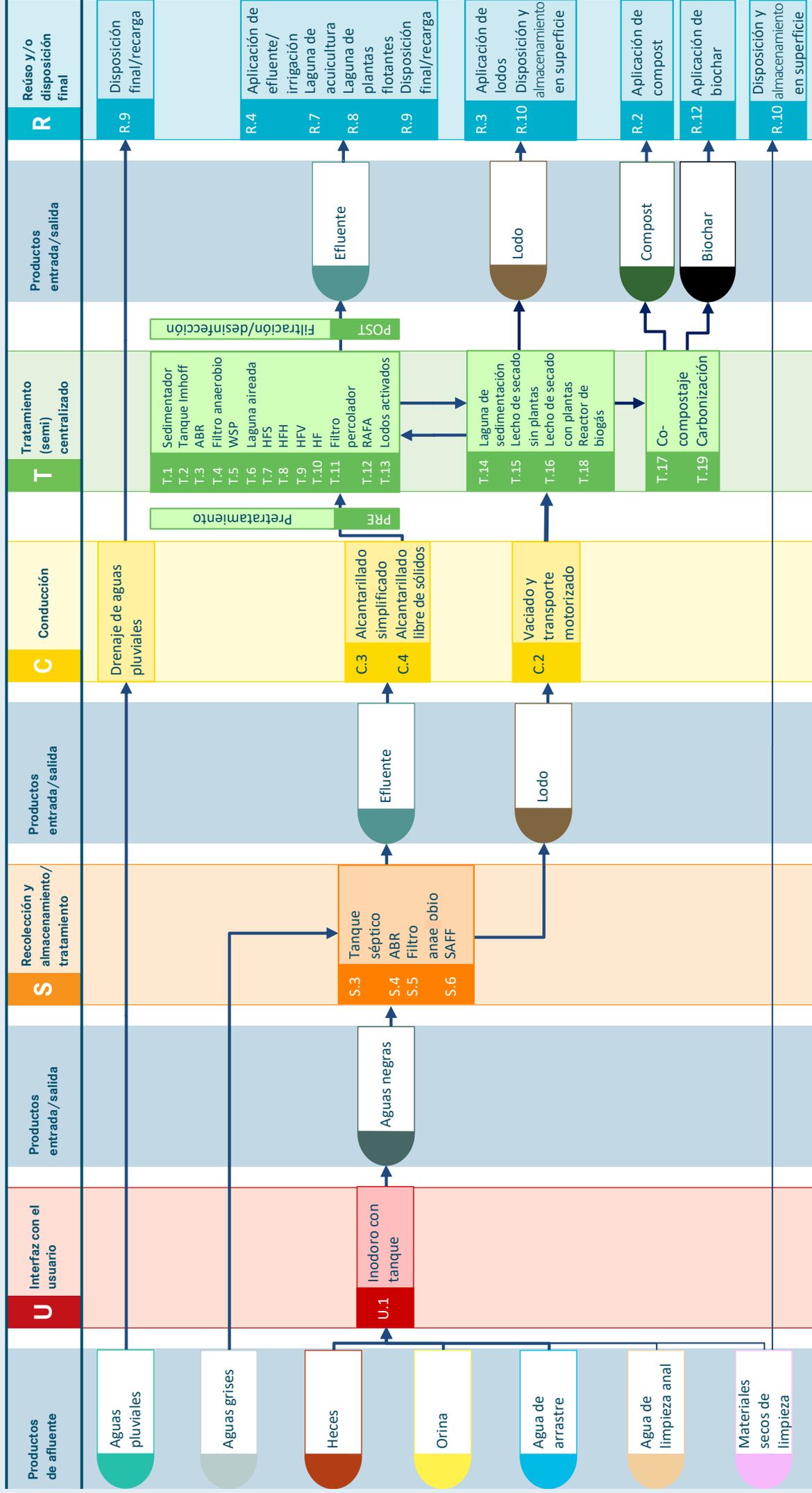
Consideraciones Este sistema sólo es apropiado en zonas donde los servicios de remoción de lodos están disponibles y son asequibles, y donde hay una forma adecuada de tratar los lodos. Para que las tecnologías de infiltración funcionen, debe haber suficiente área disponible y el suelo debe tener una capacidad adecuada para absorber el efluente. Si este no es el caso, remítase al sistema 4 (sistema de alcantarillado sin almacenamiento *in situ*). El sistema requiere una fuente constante de agua.

Este sistema que funciona con agua, es adecuado para los aportes de agua de limpieza anal y, dado que los sólidos se asientan y descomponen *in situ*, también se pueden utilizar materiales secos de limpieza fácilmente degradables. Sin embargo, los materiales rígidos o no degradables (por ejemplo, hojas o trapos) podrían obstruir el sistema y causar problemas de vaciado y, por lo tanto, no deberían utilizarse. En los casos en que los materiales secos de limpieza se recolecten por separado de los inodoros, estos deben eliminarse de forma adecuada (por ejemplo, recogerse con los residuos sólidos domésticos para su disposición final en superficie, R.10).

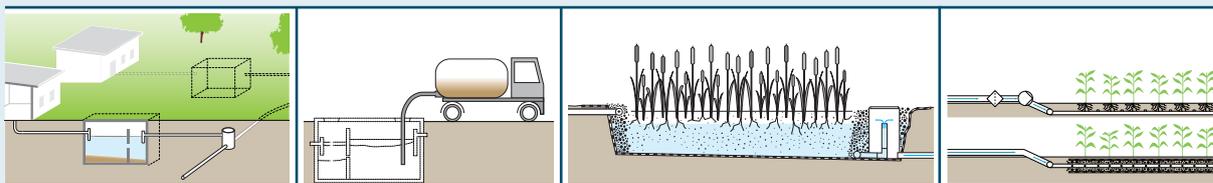
La inversión de capital para este sistema es considerable (excavación e instalación de una tecnología de almacenamiento e infiltración *in situ*), pero los costos pueden ser compartidos por varios hogares si el sistema es diseñado para un mayor número de usuarios.

Sistema 2:

Sistema de aguas negras con producción de lodos *in situ* y tratamiento de efluentes/lodos fuera del sitio



Sistema 2: Sistema de aguas negras con producción de lodos *in situ* y tratamiento de efluentes/lodos fuera del sitio



Este sistema se caracteriza por el uso de una tecnología a nivel domiciliario para la separación sólido-líquido de las aguas negras (tratamiento primario *in situ*) y el transporte por alcantarillado a una planta de tratamiento (semi)centralizada. Los lodos son removidos cada cierto tiempo mediante un vaciado motorizado (C.2). Las entradas al sistema pueden ser heces, orina, aguas de arrastre, aguas de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises.

Este sistema es comparable al sistema 1, salvo que la gestión del efluente generado durante la recolección y el almacenamiento/tratamiento de las aguas negras es diferente: el efluente procedente de los tanques sépticos (S.3), los reactores anaerobios con deflectores (S.4), los filtros anaerobios (S.5) o el reactor de película fija aireada sumergida (S.6) es transportado a una planta de tratamiento (semi)centralizada a través de una red de alcantarillado (C.3 - C.5). Dado que las unidades de recolección y almacenamiento/tratamiento separan los sólidos de la fase líquida, el efluente está libre de sólidos sedimentables y, por lo tanto, es adecuado para el alcantarillado simplificado (C.3) o alcantarillado libre de sólidos (C.4). Para mantenerse libre de sólidos sedimentables, la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento debe ser deslodada periódicamente. En la planta de tratamiento, el efluente es tratado utilizando una combinación de las tecnologías T.1-T.13. Al igual que en el sistema 3, los lodos procedentes de la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento deben ser tratados posteriormente en una planta específicamente para tratamiento de lodos (T.14-T.19). Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado (T.1-T.19) producen tanto efluentes como lodos, que pueden requerir un tratamiento adicional antes de su reuso y/o disposición final. Las opciones para el reuso y/o disposición de efluentes tratados corresponden al sistema 1 e incluyen aplicación de efluente/irrigación (R.4), lagunas de acuicultura (R.7), lagunas de plantas flotantes (R.8) o descarga a un cuerpo receptor (R.9). Los lodos pueden utilizarse directamente en la agricultura (R.3), llevarse para su almacenamiento/disposición (R.10) o convertirse en productos como compost o el biochar (T.17 y T.19).

Consideraciones Este sistema es particularmente apropiado para los asentamientos urbanos en los que el terreno no es adecuado para la infiltración del efluente. Dado que la red de alcantarillado puede diseñarse a poca

profundidad e (idealmente) hermético, también es aplicable en áreas con un nivel freático elevado. Este sistema puede ser utilizado como una forma de mejorar las tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento existentes, de bajo rendimiento (por ejemplo, tanques sépticos), proporcionando un tratamiento adicional fuera del sitio.

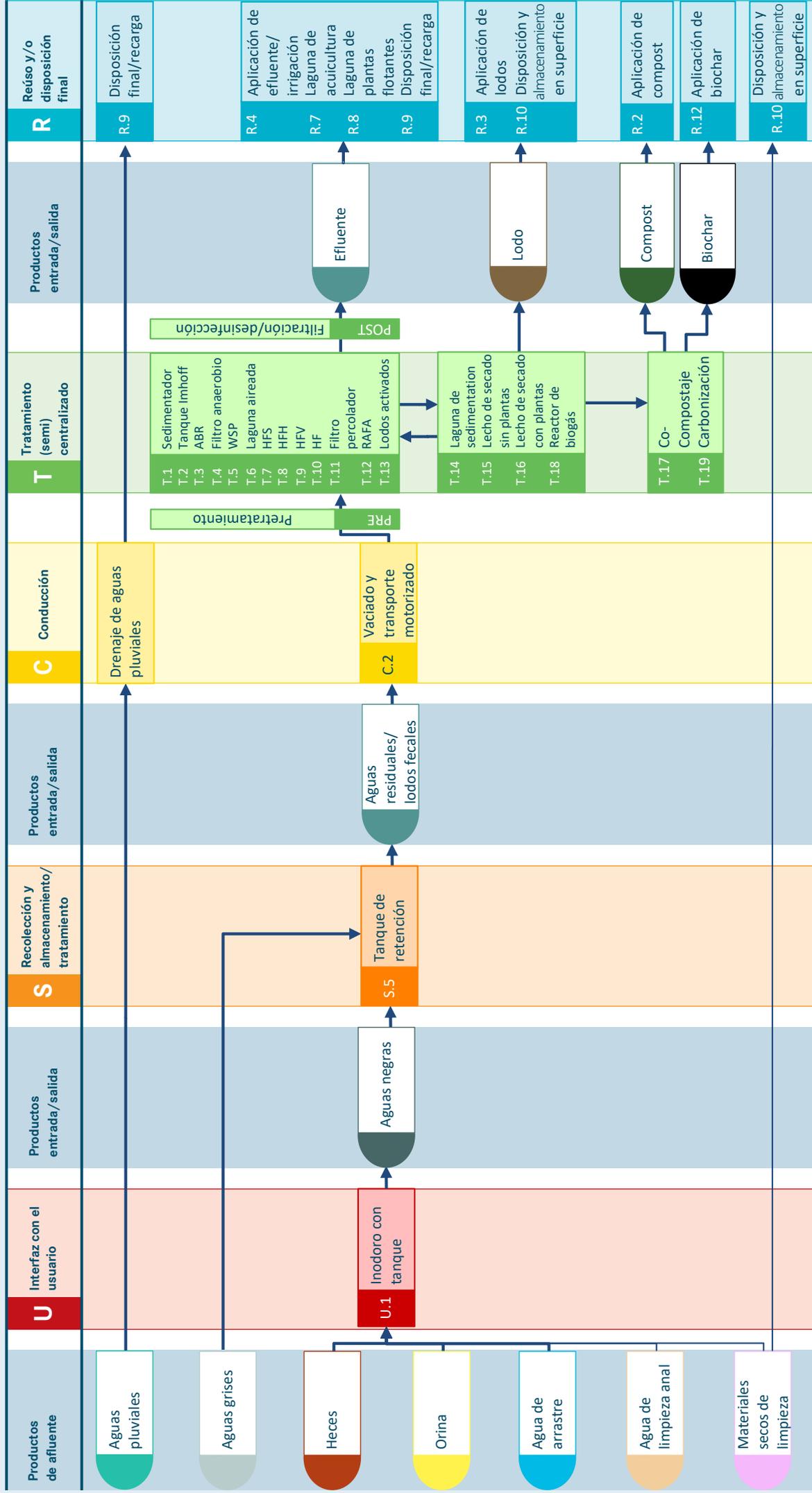
El éxito de este sistema depende de la operación y mantenimiento de la red de alcantarillado y requiere el compromiso y la actuación responsable de los usuarios y del proveedor de servicios. En ausencia de un servicio público, se puede hacer responsable a una persona u organización representando a los usuarios. En el caso de los alcantarillados simplificados (C.3 o C.4) gestionados por la comunidad, debe existir un método asequible y sistemático para el vaciado de lodos de los interceptores, ya que si un usuario no mantiene su tanque apropiadamente se podría afectar negativamente a toda la red de alcantarillado. También es importante contar con una planta de tratamiento bien operada y mantenida. En algunos casos, esto se gestionará a nivel municipal o regional. En el caso de una solución a pequeña escala para un asentamiento local, las responsabilidades de operación y mantenimiento también podrían organizarse a nivel de comunidad o condominio.

Dado que los sólidos se sedimentan y digieren *in situ*, se pueden utilizar materiales secos de limpieza fácilmente degradables. Sin embargo, los materiales rígidos o no degradables (por ejemplo, hojas, trapos, toallitas húmedas) podrían obstruir el sistema y causar problemas de vaciado y, por lo tanto, no deberían utilizarse. En los casos en que los materiales secos de limpieza se recojan por separado, deben eliminarse de forma adecuada (por ejemplo, disposición en superficie, R.10).

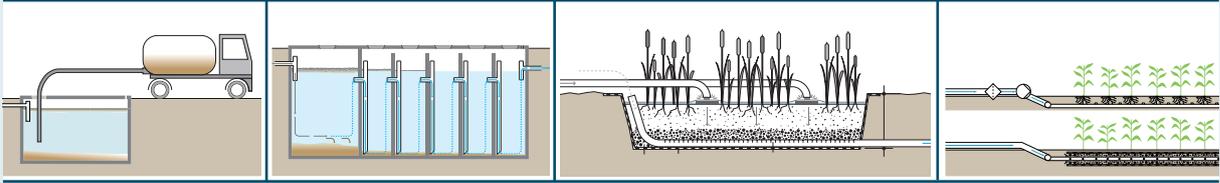
Con el transporte del efluente desde el sitio donde es producido hasta una planta de tratamiento semicentralizado, la inversión de capital de este sistema es considerable. La instalación de tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento *in situ* puede ser costosa para el usuario, pero el diseño y la instalación de un alcantarillado simplificado o libre de sólidos costarán considerablemente menos que una red de alcantarillado convencional. 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 el alcantarillado. En la parte 3 se presenta mayor información de costos de sistemas de saneamiento.

Sistema 3:

Sistema de tanque de retención con transporte motorizado para el tratamiento fuera del sitio



Sistema 3: Sistema de tanque de retención con transporte motorizado para el tratamiento fuera del sitio



Este sistema se caracteriza por la recolección de aguas negras *in situ* en un tanque de retención (S.2), al que se le realiza un mantenimiento regular mediante el vaciado y transporte motorizado (C.2) para su tratamiento (semi) centralizado fuera del sitio (T.1-T.19).

Esta tecnología suele ser la única opción en los asentamientos sin alcantarillado donde las condiciones *in situ* no permiten ningún tipo de efluente de tanque séptico u otras tecnologías sin contenedores.

Las aguas negras pueden incluir heces, orina, aguas de arrastre, aguas de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises. Las aguas negras se tratan fuera de las instalaciones utilizando una combinación de tecnologías seleccionadas (T.1-T.13) en función de las condiciones y circunstancias locales. Es necesario un buen manejo del cribado y del pretratamiento (PRE). Las tecnologías de tratamiento (semi)centralizado producen efluentes y lodo. El lodo requiere un tratamiento adicional (T.14 -T.19) antes de su reúso y/o disposición final.

Las opciones para el reúso y/o disposición final del efluente tratado incluyen la aplicación de efluente/irrigación (R.4), lagunas de acuicultura (R.7), lagunas de plantas flotantes (R.8) o descarga a un cuerpo receptor (disposición final del agua/recarga de acuífero, R.9). Tras un tratamiento adecuado, los lodos pueden utilizarse directamente en la agricultura (R.3), llevarse a un lugar para su almacenamiento/disposición (R.10) o convertirse en productos de valor añadido como el compost o el biochar mediante otras tecnologías (T.17 y T.19).

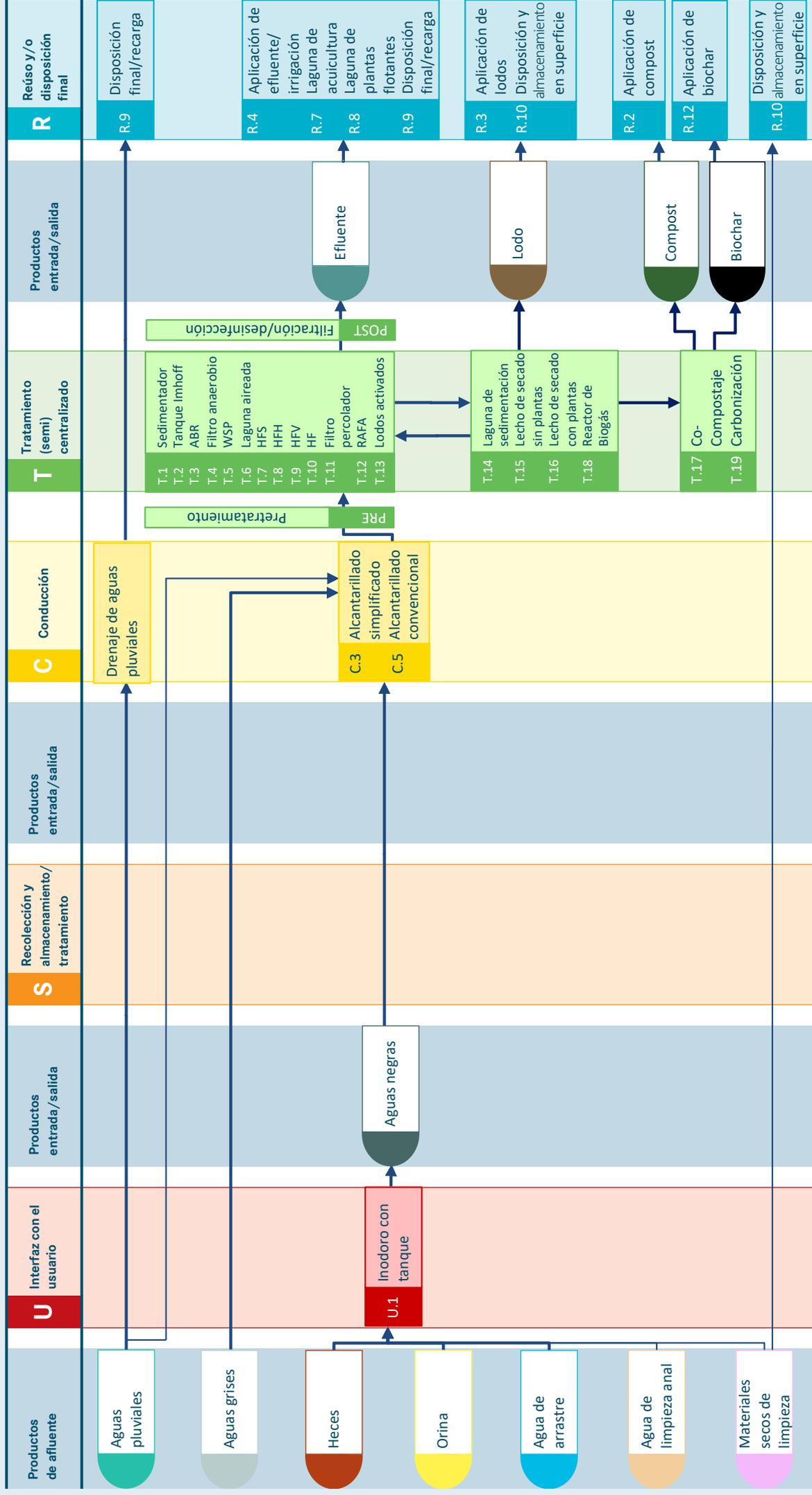
Consideraciones Este sistema es especialmente adecuado para los asentamientos urbanos en los que los efluentes de los sistemas de tratamiento *in situ* no pueden ser vertidos en un sistema de alcantarillado, y la infiltración en el suelo no esté permitida o no es posible. Como el tanque de retención no realiza ningún tratamiento, el éxito de este sistema depende de un servicio fiable de vaciado y transporte con camiones de vacío, de la aplicación de normativas contra el vertido ilegal de las cargas de los camiones (sobre todo a cuerpos de agua superficial) y de un control eficaz y transparente. Una instalación bien operada y con un tratamiento adecuado del contenido del tanque de retención fuera del sitio (idealmente incluyendo el reúso seguro de los productos del tratamiento) es un requisito previo para este sistema de saneamiento.

En algunos casos, las instalaciones de tratamiento son gestionadas por los servicios públicos a nivel municipal o regional. Como se ha mencionado para el sistema 2, las responsabilidades de operación y mantenimiento de una solución a pequeña escala para un asentamiento local, también podrían organizarse a nivel de comunidad o condominio.

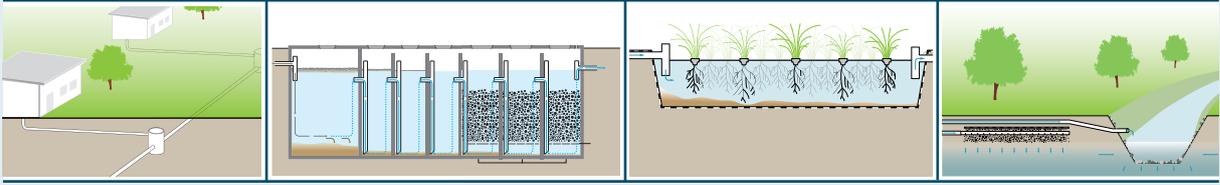
Si los materiales secos de limpieza se recogen por separado de los inodoros, deben eliminarse de forma adecuada (por ejemplo, disposición en superficie, R.10). El sistema es vulnerable a la entrada de materiales rígidos o no degradables como plásticos, caucho y productos de higiene menstrual.

Sistema 4:

Sistema de alcantarillado sin almacenamiento *in situ*



Sistema 4: Sistema de alcantarillado sin almacenamiento *in situ*



Este es un sistema de alcantarillado en el cual las aguas negras se transportan a una planta con sistema de tratamiento centralizado o (semi)centralizado. La característica más importante de este sistema es que no hay recolección y almacenamiento/tratamiento *in situ*. Los afluentes del sistema incluyen heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza, aguas grises y, posiblemente, aguas pluviales. Se utiliza un inodoro con tanque (U.1) como tecnología de interfaz con el usuario. Las aguas negras que se generan en la interfaz con el usuario, junto con las aguas grises, se transportan directamente a una planta con sistema de tratamiento centralizado o semicentralizado, a través de una red de alcantarillado condominial o simplificado (C.3) o alcantarillado convencional por gravedad (C.5). La inclusión de las aguas grises en la tecnología de transporte ayuda a evitar la acumulación de sólidos en las alcantarillas.

Las aguas pluviales también pueden introducirse 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 las aguas pluviales o un sistema de drenaje separado para el agua de lluvia.

Se requiere una combinación de las tecnologías T.1-T.13 para el tratamiento de las aguas residuales. Además, debe considerarse un pretratamiento (PRE). El lodo generado a partir de estas tecnologías debe ser tratado posteriormente en una planta de tratamiento de lodos (T.14-T.19) antes del reúso y/o disposición final.

Las opciones para el reúso y/o disposición final de efluentes tratados corresponden al sistema 1 e incluyen la aplicación de efluente/irrigación (R.4), lagunas de acuicultura (R.7), estanques para plantas flotantes (R.8) o descarga a un cuerpo receptor (R.9).

Los lodos pueden utilizarse directamente en la agricultura (R.3), llevarse para su almacenamiento/disposición (R.10) o convertirse en productos como compost o el biochar (T.17 y T.19).

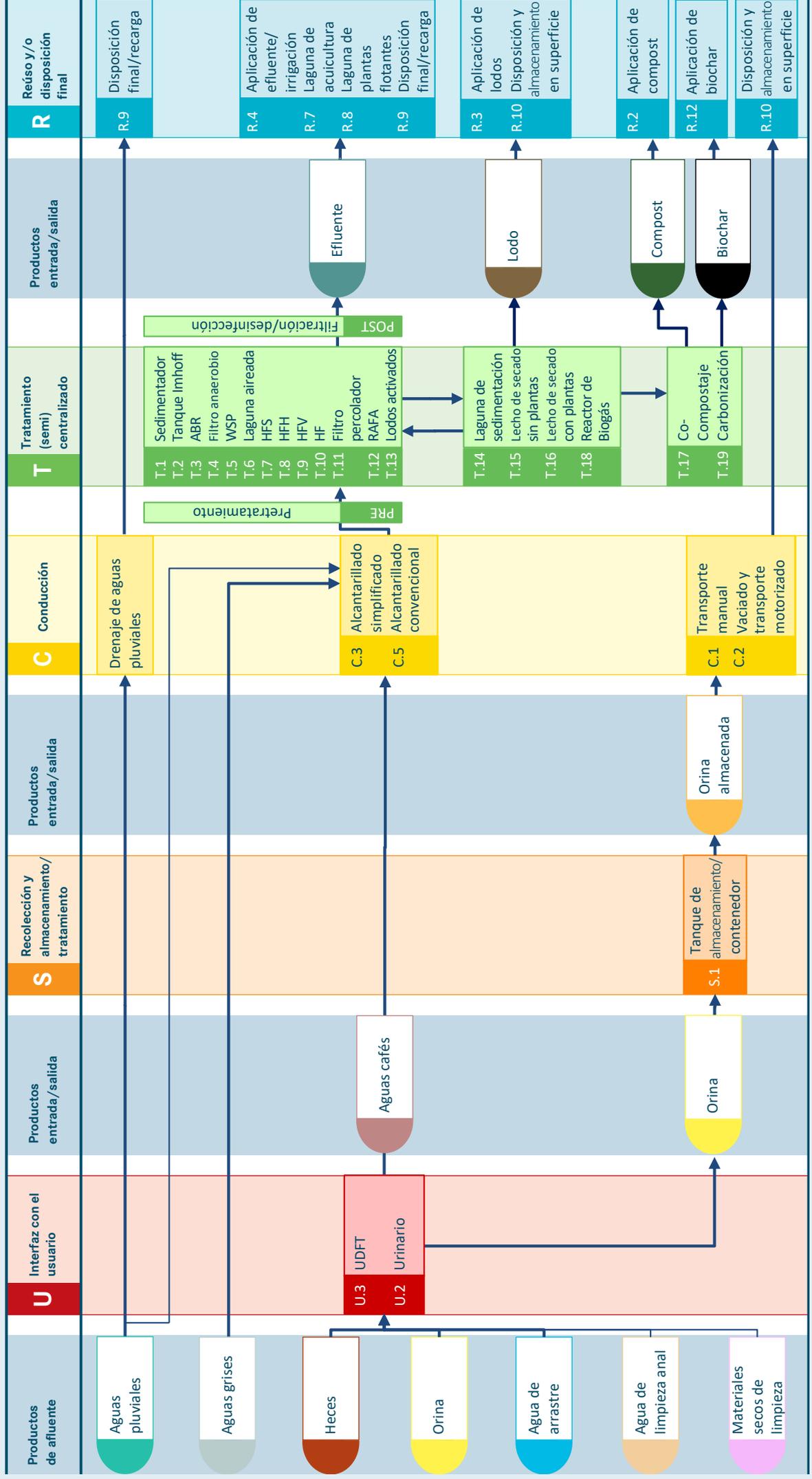
Consideraciones Este sistema es especialmente apropiado para asentamientos urbanos y periurbanos densos, donde hay poco o ningún espacio para las tecnologías de almacenamiento *in situ* o para el vaciado, y donde se puede instalar un sistema de alcantarillado. El sistema no es adecuado para las zonas rurales con baja densidad de viviendas. Debido a que la red de alcantarillado (idealmente) es hermética, también puede aplicarse en áreas con niveles freáticos altos. Debe haber un suministro constante de agua para garantizar que las alcantarillas no se obstruyan. Los materiales secos de limpieza pueden ser manejados por el sistema o pueden ser recolectados y desechados por separado (por ejemplo, la disposición final en superficie, R.10). Se debe evitar la eliminación de residuos sólidos en el inodoro (material de higiene menstrual, toallitas húmedas, objetos de plástico, etc.).

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

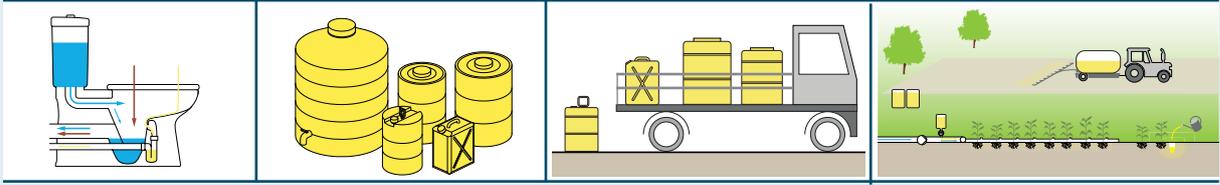
Este sistema es el más apropiado cuando hay disposición y capacidad de pago de la inversión de capital y los costos de mantenimiento, y donde exista una planta de tratamiento con capacidad para aceptar el flujo adicional.

Sistema 5:

Sistema de alcantarillado con desviación de orina y transporte para aplicación externa de orina



Sistema 5: Sistema de alcantarillado con desviación de orina y transporte para aplicación externa de orina



Este es un sistema que funciona con agua, que requiere un inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT, U.3) y una red de alcantarillado. El UDFT es una interfaz con el usuario especial que permite la separación de la orina y las heces en la fuente. Las heces se vierten en la red de alcantarillado como agua café, mientras que la orina puede recolectarse por separado. Los productos que entran 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 interfaz con el usuario para este sistema es el UDFT (U.3). Se puede instalar un Urinario (U.2) adicional para una eficaz recolección de orina. Las aguas café y la orina se separan en la interfaz con el usuario. Las aguas café pasan por una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento y son transportadas directamente a un sistema de tratamiento semicentralizado mediante una red de alcantarillado simplificada (C.3) o convencional por gravedad (C.5). Las aguas grises también se transportan por el alcantarillado. Las aguas pluviales pueden introducirse en 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 las aguas pluviales, o un sistema de drenaje separado.

La orina desviada en la interfaz de usuario se recoge en un tanque de almacenamiento (S.1). La orina almacenada puede ser fácilmente manipulada con pocos riesgos porque es prácticamente estéril. Debido a su alto contenido de nutrientes puede ser utilizada como un buen fertilizante líquido. La orina almacenada puede ser transportada para su aplicación en la agricultura (R.1) mediante transporte manual (C.1) o utilizando la tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.2), de la misma forma que se transporta a los campos el agua en bloque o el lodo. Las aguas café se tratan en una planta con sistema de tratamiento (semi) centralizado utilizando una combinación de las tecnologías T.1-T.13. El lodo generado por estas tecnologías debe ser tratado adicionalmente con tecnologías específicas de tratamiento de lodos (T.14-T.19) antes de su reúso y/o disposición final. Las opciones para el reúso y/o disposición final de efluentes tratados corresponden al sistema 1 e incluyen la aplicación de efluente/irrigación (R.4), lagunas de acuicultura (R.7), estanques para plantas flotantes (R.8)

o descarga a un cuerpo receptor (R.9). Los lodos pueden utilizarse directamente en la agricultura (R.3), llevarse para su almacenamiento/disposición (R.10) o convertirse en productos como compost o el biochar (T.17 y T.19).

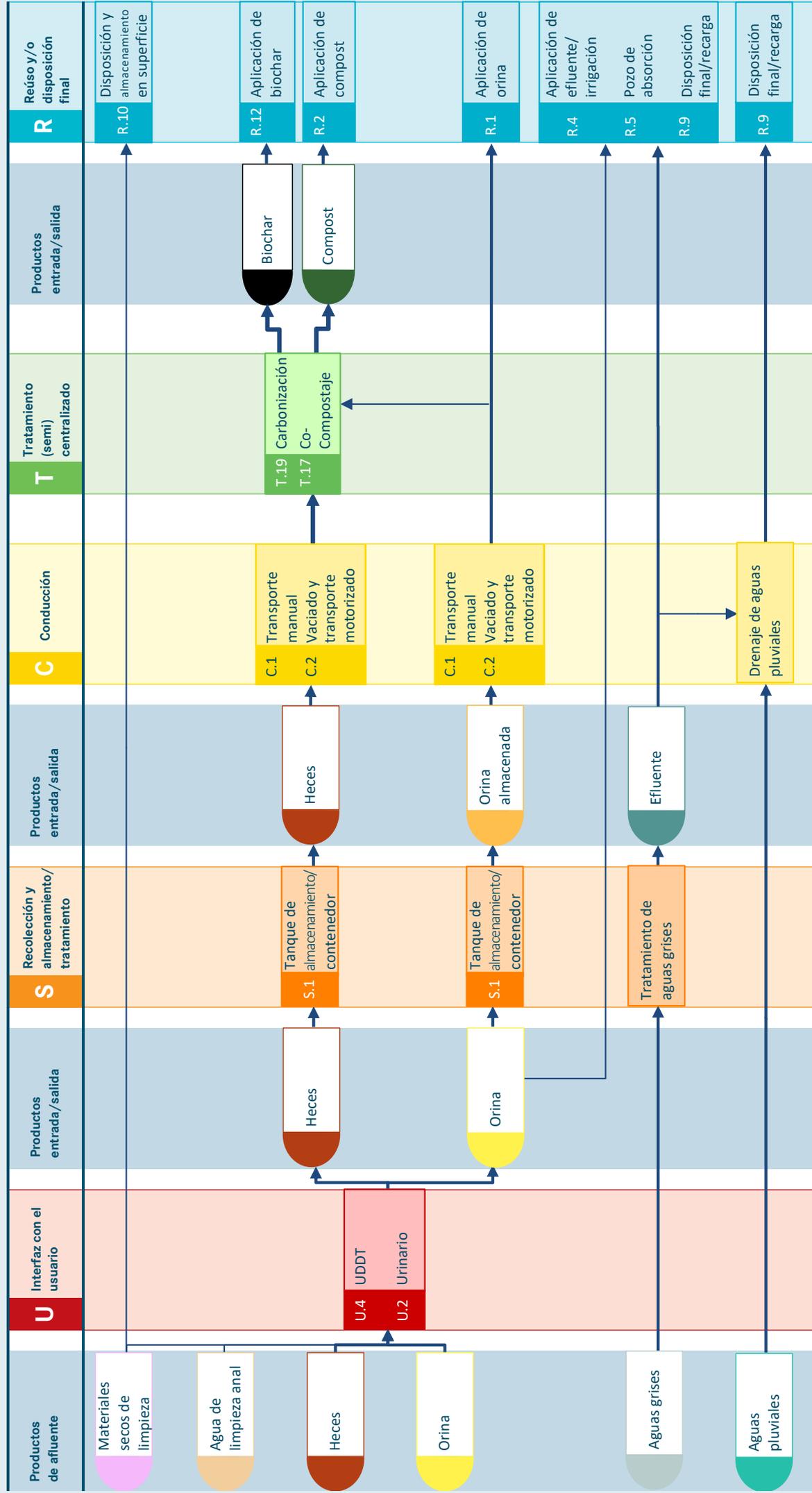
Consideraciones Este sistema sólo es apropiado cuando existe una demanda de orina, por ejemplo, en la agricultura. Además, la interfaz con el usuario y el posterior manejo de la orina deben ser aceptados por los usuarios. Otro aspecto importante es que la separación de la orina alivia la operación de la planta de tratamiento al disminuir la concentración de nutrientes y DQO, permitiendo el cumplimiento de las normas de descarga (por ejemplo, el Anexo III del Protocolo FTCM del Convenio de Cartagena, p. 173) con un menor consumo de energía y complejidad de la planta de tratamiento. Este sistema puede ser adaptado tanto a zonas urbanas y periurbanas densas. No se adapta bien a las zonas rurales con baja densidad de viviendas. Tomando precauciones especiales para garantizar la impermeabilidad de la red de alcantarillado, el sistema también es aplicable a zonas con niveles freáticos altos.

Los materiales secos de limpieza pueden ser manejados por el sistema, o ser recolectados y desechados por separado (véase R.10). Se debe evitar la eliminación de residuos sólidos en el inodoro (material de higiene menstrual, toallitas húmedas, objetos de plástico, etc.).

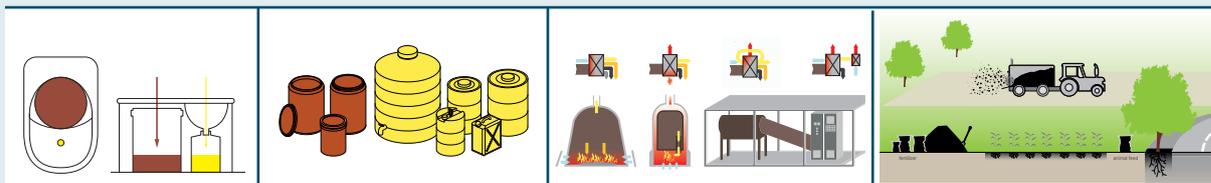
Los UDFT de porcelana son costosos; sin embargo, se dispone también de los UDFT de polipropileno, aún recientes en el mercado, pero más económicos y que ofrecen una oportunidad de negocio para los fabricantes locales. El alcantarillado convencional por gravedad es más costoso porque requiere excavación e instalación extensa; 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 una tarifa por el uso del sistema y por su mantenimiento. Dependiendo del tipo de alcantarillado y de la estructura de manejo (simplificado vs. convencional, gestionado por la ciudad contra operado por la comunidad) habrá diversos grados de responsabilidad de operación para los propietarios de las viviendas. Este sistema es el más apropiado cuando existe una alta disposición y capacidad de pago de la inversión de capital y los costos de mantenimiento, y donde exista una planta de tratamiento con capacidad para aceptar el flujo adicional.

Sistema 6:

Sistema basado en contenedores con desviación de orina y transporte a tratamiento externo



Sistema 6: Sistema basado en contenedores con desviación de orina y transporte a tratamiento externo



Este sistema está diseñado para separar la orina y las heces en la fuente (es decir, en el inodoro) y de esta manera, permitir un tratamiento por separado; así como la recuperación de recursos para su aprovechamiento. Los afluentes al sistema pueden incluir heces, orina, agua de limpieza anal y materiales secos de limpieza.

La tecnología de interfaz con el usuario para este sistema es el inodoro seco con desviación de orina (UDDT, U.4), que permite recolectar la orina y las heces por separado. Además, se puede instalar un urinario (U.2) para una efectiva recolección de la orina. Existen diferentes diseños de UDDT, tal y como se presenta en la 2.^a edición del compendio Eawag, para diferentes preferencias y condiciones locales. Este compendio presenta un sistema basado en los principios del “Saneamiento Basado en Contenedores” (CBS, por sus siglas en inglés), es decir, un servicio integral en el que los inodoros recogen los excrementos en contenedores sellables y removibles. El sistema CBS es la solución recomendada cuando los asentamientos informales van a ser atendidos por los servicios públicos. Sin un servicio sólido de recolección, transporte y tratamiento, un sistema CBS no puede funcionar.

Después de la defecación, es importante un suministro constante de ceniza, cal, tierra o aserrín para cubrir las heces. Esto ayuda a absorber la humedad, minimizar los olores y proporcionar una barrera entre las heces y los posibles vectores (moscas). Si se utiliza ceniza o cal, el aumento de pH favorecerá la eliminación de organismos patógenos. Las moscas y olores molestos pueden reducirse aún más adicionando un tubo de ventilación en el UDDT.

Las heces pueden transportarse fácilmente en contenedores sellados para su posterior tratamiento, por ejemplo, mediante el co-compostaje (T.17) o la carbonización (T.19). Los productos de tratamiento, compost o biochar, se transportan en cantidad para su aplicación agrícola u hortícola (R.2 y R.12). En la “Guía de Recuperación de Recursos Sanitarios” se presentan otras tecnologías para procesar las heces y convertirlas en productos comercialmente viables, como: vermicompostaje y vermifiltración o compostaje de larvas de mosca “soldado negra”.

Para la recolección y el almacenamiento/tratamiento de la orina, se utilizan bidones u otros tanques/contenedores de almacenamiento (S.1). Como opción alternativa, la orina

puede ser infiltrada directamente a través de un pozo de absorción (R.5) o ser reutilizada en el lugar, por ejemplo, para fertilizar los jardines de la casa.

La orina almacenada puede ser fácilmente manipulada con pocos riesgos porque es prácticamente estéril. Debido a su alto contenido de nutrientes puede ser utilizada como un buen fertilizante líquido, después de una dilución adecuada. La orina almacenada puede ser transportada para su aplicación en la agricultura (R.1) con transporte manual o utilizando tecnología de vaciado y transporte con motor (C.1 y C.2). Otras tecnologías para el procesamiento posterior y la comercialización de la orina como fertilizante líquido concentrado o cristalino se presentan en la “Guía para la recuperación de recursos sanitarios” introducida en la página 76ss.: Nitrificación y destilación de la orina, precipitación de estruvita y deshidratación alcalina de la orina.

Consideraciones Este sistema se puede utilizar en cualquier lugar, pero es apropiado para áreas con estructuras/situaciones de vivienda temporal o informal, alta densidad de población sin opción de recolección y almacenamiento/tratamiento *in situ*, especialmente donde el acceso con vehículos es limitado, en áreas rocosas donde la excavación es difícil, donde hay un alto nivel freático, o en regiones con escasez de agua. También se puede utilizar para grandes eventos, como los festivales. El éxito de este sistema depende de la separación eficaz de la orina y las heces, así como del uso de un adecuado material de cobertura. Un clima seco y caluroso también puede contribuir considerablemente a la rápida deshidratación de las heces. En los sistemas CBS, la materia fecal se transporta de forma segura en contenedores sellados con el uso de equipo de protección personal. Las aguas grises no se manipulan en este sistema y requieren una solución por separado.

Se pueden utilizar todos los tipos de materiales secos de limpieza, aunque es mejor recogerlos por separado, ya que ocupan espacio en los contenedores y pueden no degradarse tan rápido como las heces en procesos como el co-compostaje (T.17).

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, y explica cómo funcionan, donde pueden ser usadas, sus ventajas y desventajas.

Para cada tecnología que se describe en los esquemas de sistemas, hay una 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 **Interfaz con el usuario** (Tecnologías U.1-U.4): rojo

S **Recolección y almacenamiento/tratamiento** (Tecnologías S.1-S.6): naranja

C **Conducción** (Tecnologías C.1-C.5): amarillo

T **Tratamiento (semi)centralizado** (Tecnologías PRE, T.1-T.19, POST): verde

R **Reúso y/o disposición final** (Tecnologías R.1-R.12): 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 interfaz 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

Las siguientes figuras son ejemplos de encabezados de las fichas tecnológicas.

1

T.8		Humedal de flujo horizontal (HFH)	Aplica a: Sistemas 1-5	2	
Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:	Efluente	Aguas residuales	6
<input type="checkbox"/> * Vivienda	<input type="checkbox"/> * Vivienda	<input type="checkbox"/> Aguas negras	<input type="checkbox"/> Aguas cafés	<input type="checkbox"/> Aguas grises	
<input type="checkbox"/> ** Vecindario	<input type="checkbox"/> ** Compartido	Salidas:	<input type="checkbox"/> Efluente	<input type="checkbox"/> Biomasa	7
<input type="checkbox"/> * Ciudad	<input type="checkbox"/> ** Público				8

SbN

U.1

U.1		Inodoro con tanque	Aplica a: Sistemas 1-4	2		
Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:	Heces	Orina	Agua de arrastre	
<input type="checkbox"/> * Vivienda	Bajo - medio - alto	<input type="checkbox"/> Aqua de limpieza anal	<input type="checkbox"/> Materiales secos de limpieza			6
<input type="checkbox"/> ** Ciudad		Salidas:	<input type="checkbox"/> Aguas negras			7

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 (4) indica que es la cuarta 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 1-5 o 1-4.** Esto indica en cuáles esquemas de sistema se puede encontrar la tecnología. En este caso, el reactor anaerobio con deflectores (ABR) puede hallarse en los sistemas 1 a 5. Otras tecnologías podrían aplicarse solamente a un sistema.

3 **Nivel de aplicación.** En este apartado 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 varias o varios cientos de 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 aproximada para usarse en la fase de planificación preliminar. Las tecnologías dentro del grupo funcional interfaz de usuario incluyen por primera vez un "Nivel de Aplicación" - con sólo dos categorías diferentes:

- **Edificios de viviendas privadas y oficinas** significan que la tecnología funcionará bajo una mayor vigilancia y mantenimiento, en comparación con las instalaciones públicas o compartidas.
- **Instalaciones públicas y compartidas** implican que la tecnología es lo suficientemente robusta como para funcionar en circunstancias no privadas con menor vigilancia.

4 Nivel de manejo describe el estilo organizativo más adecuado para la operación y mantenimiento (O&M) de la tecnología dada:

- *Vivienda* implica que el hogar, por ejemplo, la familia, es responsable de toda la O&M.
- *Compartidas* significa que un grupo de usuarios (por ejemplo, en una escuela, una organización comunitaria o los vendedores de un mercado) se encarga de la O&M, garantizando que una persona o un comité sea responsable en nombre de todos los usuarios. Las instalaciones compartidas se definen por el hecho de que la comunidad de usuarios decide quién puede utilizar la instalación y cuáles son sus responsabilidades; es un grupo de usuarios autodefinido.
- *Público* implica instalaciones administradas por instituciones o gobiernos, y toda 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, el humedal de flujo horizontal podría manejarse en cualquiera de los tres estilos, aunque es menos adecuado para viviendas.

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

5 Nivel de complejidad Esta es una nueva categoría para el grupo funcional interfaz con el usuario, específicamente. Ésta describe lo difícil o complejo que puede ser para el propietario y el operador de una determinada tecnología garantizar su funcionalidad de manera sostenible.

- *Bajo*, implica que no se requieren habilidades o capacidades específicas para observar, analizar y seleccionar la medida adecuada para mantener una determinada tecnología en funcionamiento.
- *Medio*, significa que se requieren habilidades y capacidades de nivel medio (incluido el acceso a equipos y piezas de repuesto) para observar, analizar y seleccionar la medida adecuada para mantener una tecnología determinada en funcionamiento.
- *Alto*, implica que se requieren habilidades y capacidades avanzadas y profesionales (incluido el acceso a equipos y piezas de repuesto) para observar, analizar y seleccionar la medida adecuada para mantener una tecnología determinada en funcionamiento.

6 Entradas Se refieren a los productos que entran en la tecnología dada. Los íconos que aparecen **sin paréntesis** son los insumos regulares que normalmente entran en una tecnología. Para algunas tecnologías, estos productos representan alternativas u opciones (posibilidades), las cuales no todas son necesarias. Por lo tanto, los íconos regulares representan los productos obligatorios o la elección de productos principales obligatorios.

Los productos **entre paréntesis ()** son productos adicionales (opcionales) que pueden o no ser utilizados o estar presentes como productos de entrada, dependiendo del diseño o del contexto.

Cuando un producto aparece mezclado con otro, aparece con el signo "+". El producto que sigue al "+" se mezcla con los productos anteriores. En otras palabras, los dos productos que se encuentran a ambos lados del "+" están incluidos en la tecnología dada y se mezclan.

En el segundo ejemplo, la orina y las heces son los principales productos de entrada procesados por el inodoro con tanque. También se pueden incluir materiales secos de limpieza (entre paréntesis se indica que es un insumo adicional y opcional en caso de que los usuarios sean limpiadores y usen materiales de limpieza biodegradables). Se utilizan materiales secos de limpieza. El agua de limpieza anal en algunas interfaces de usuario puede ser entrada (y salida) - o no, dependiendo de la práctica regional o local.

7 Salidas Se refieren a los productos que salen de la tecnología dada. Los iconos que se muestran **sin paréntesis** son las salidas que regularmente salen de una tecnología. Los productos **entre paréntesis ()** son productos adicionales (opcionales) que pueden aparecer o no como productos de salida, dependiendo del diseño o del contexto.

Cuando estos productos se mezclan con otro producto, se indica con el signo "+". El producto que sigue al "+" se mezcla con los productos anteriores. En el ejemplo de U.1, los materiales secos de limpieza no se separan de las heces en la interfaz con el usuario y, por lo tanto, salen del inodoro con tanque junto con los productos anteriores (indicados por el "+"). En otras palabras, los dos productos a ambos lados del "+" salen de la tecnología dada ya mezclados.

En el primer ejemplo, el HFH produce dos productos distintos: el efluente tratado y a biomasa.

8 SbN Se refiere a las **Soluciones basadas en la Naturaleza** según la figura 1 de la página 169.

Esta sección describe las tecnologías con las que interactúa el usuario, es decir, el tipo de inodoro, pedestal, losa o urinario que utiliza. La interfaz del usuario debe garantizar que los excretas humanos estén separados higiénicamente del contacto humano, para evitar la exposición a la contaminación fecal. Hay dos tipos principales de interfaces: las tecnologías secas que funcionan sin agua (U.4) y las tecnologías basadas en el agua, las que necesitan de un suministro regular de agua para funcionar correctamente (U.1, U.3). Los urinarios (U.2) pueden funcionar tanto como tecnología seca como a base de agua. Las diferentes tecnologías de interfaz de usuario generan diferentes productos de salida. Esto influye en el tipo de tecnología posterior para la recolección y almacenamiento/tratamiento o conducción.

U.1 Inodoro con tanque

U.2 Urinario

U.3 Inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT)

U.4 Inodoro seco con desviación de orina (UDDT)

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

- Disponibilidad de agua de arrastre.
- Las condiciones de la vivienda (por ejemplo, la tenencia y la disponibilidad del terreno)
- Compatibilidad con las opciones tecnológicas de recolección y almacenamiento/tratamiento o conducción subsecuentes.
- Preferencias y hábitos de los usuarios (lavarse o limpiarse).
- Necesidades especiales para grupos de usuarios.
- Disponibilidad local de materiales.
- Disponibilidad de servicios apropiados (por ejemplo, servicios de saneamiento basado en contenedores).



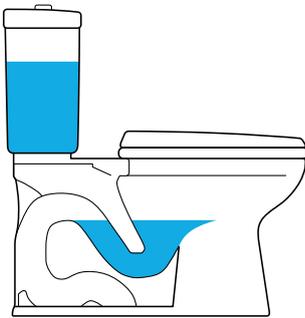
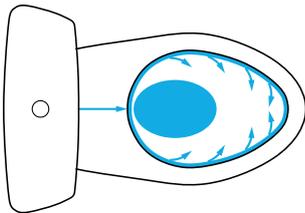
Nivel de aplicación:

(**) Vivienda

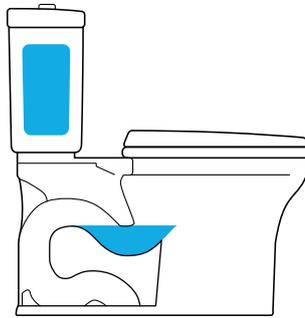
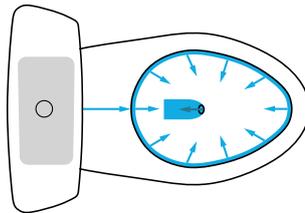
(*) Ciudad

Nivel de complejidad:

Bajo - medio - alto

Entradas:  Heces  Orina Agua de arrastre  Agua de limpieza anal Materiales secos de limpieza**Salidas:**  Aguas negras

Inodoro con tanque



Inodoro de válvula

La interfaz con el usuario más común en el ámbito urbano del Caribe es el inodoro con tanque. Consta de una taza para sentarse y un depósito con agua que proporciona agua para el arrastre de las excretas. Los inodoros están usualmente hechos de porcelana, pero también se utilizan de plástico. Los inodoros con tanque simples tienen un nivel de complejidad bajo y están disponibles en todas partes a nivel local.

El agua almacenada en el tanque sobre la taza del inodoro se libera pulsando un botón o tirando de una palanca. Esto permite que el agua fluya hacia la taza, mezclándose con los excrementos y descargándolos por las tuberías de desagüe. La tubería interior del inodoro forma un sifón para crear un sello de agua que evita que los olores del sistema de tuberías de desagüe vuelvan a subir.

Consideraciones de diseño Los inodoros con tanque simples (arriba a la izquierda) consumen entre 6 y 9 l ($\geq 1,6$ galones americanos) por descarga, mientras que los modelos más antiguos estaban diseñados para descargar grandes cantidades de agua de hasta 20 l. Los inodoros de bajo flujo o de baja descarga están diseñados con una cisterna especial y un sistema de sifón para

consumir menos de 5 l ($\leq 1,28$ galones) por descarga. Estos suelen tener un sistema de doble descarga, en el que una descarga está diseñada sólo para la orina y consume menos agua que la otra para las heces. Estos últimos tienen un nivel de complejidad medio. Sin embargo, los diseños más sencillos de los inodoros de baja descarga no siempre logran remover completamente todos los excrementos con una sola descarga. En consecuencia, el usuario tiene que jalar la palanca dos o más veces para limpiar adecuadamente la taza, lo que anula el ahorro de agua previsto.

Los inodoros de válvula están diseñados para aumentar el rendimiento de limpieza con menos agua. El consumo de agua por descarga puede ser inferior a 5 l ($\geq 3,81$ o 1 gal), según el modelo (ToiletReviewer.com, 2020). Un cartucho de presión especial dentro del tanque utiliza la presión de la tubería de agua para comprimir el aire (con una presión de alrededor de 35 psi o más). Este aire aumenta la presión del flujo cuando se libera durante la descarga, forzando al agua a moverse más rápido a través de la taza. El diseño especial de la taza y la liberación de parte del agua directamente en el canal inferior crea una fuerza de succión que rompe los sólidos y los lleva a través del sifón.

Sin embargo, la complejidad es alta, la reparación requiere experiencia y el precio de estos inodoros puede ser varias veces superior al de un inodoro con tanque simple.

Idoneidad Un inodoro con tanque requiere tanto de una fuente constante de agua para la descarga (diariamente unos 12-28l por persona) como una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento o transporte para recibir las aguas negras. Teniendo en cuenta el elevado precio del agua en algunas partes del Caribe, se recomiendan los inodoros de baja descarga para aplicaciones privadas y públicas. En el caso de las instalaciones públicas, pueden considerarse materiales especialmente resistentes en lugar de la porcelana.

Aspectos de salud/aceptación Es un inodoro seguro y cómodo, bastante conocido y aceptado en la región. Con un uso adecuado y una limpieza regular, los inodoros con tanque no suponen ningún riesgo para la salud.

Operación y mantenimiento El inodoro debe limpiarse regularmente para mantener la higiene y evitar la acumulación de manchas. Es necesario observar y cambiar regularmente los sellos o juntas para evitar un flujo constante de agua del tanque a la taza. También es necesario el mantenimiento y la sustitución o reparación de algunas piezas mecánicas o accesorios. En algunos sistemas de tratamiento *in situ*, se recomienda no arrojar materiales de limpieza a la taza, como el papel higiénico,

sino recolectarlos en un contenedor aparte. Los productos de higiene menstrual y otros productos de uso común, como las toallas húmedas, no deben echarse nunca en un inodoro con tanque.

Pros y contras

- + Los excrementos se eliminan directamente y se transportan al sistema de almacenamiento/tratamiento o conducción
- + El uso adecuado y la limpieza regular proporcionan condiciones higiénicas sin riesgos para la salud
- + No hay problema con los olores si se utiliza correctamente
- + Apto para todo tipo de usuarios (los que se limpian con papel y los que se limpian con agua).
- Costos altos de capital, especialmente en el caso de los sistemas de inodoros avanzados de bajo consumo; puede que no se disponga de piezas de repuesto
- Los inodoros de válvula son más ruidosos, necesitan cierta presión en el sistema de suministro de agua y defectos de fabricación pueden hacer que el tanque estalle
- Los costos de operación dependen del precio del agua, por lo que ahorrando agua se reducen costos
- Requiere una fuente constante de agua y un volumen entre 12 - 28l por persona/día

Referencias y lecturas adicionales

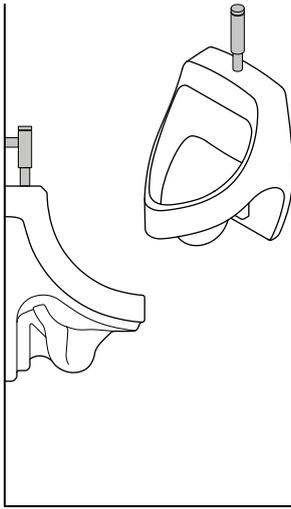
se encuentran en la página 238

Nivel de aplicación:

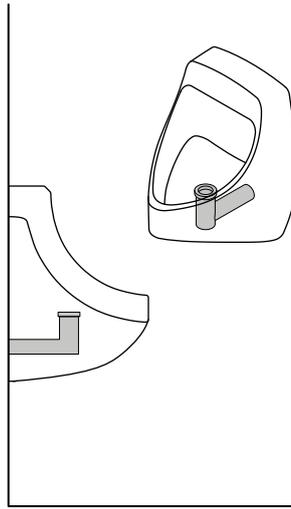
- (**) Viviendas privadas y edificios de oficinas
- (**) Instalaciones públicas y compartidas

Nivel de complejidad:

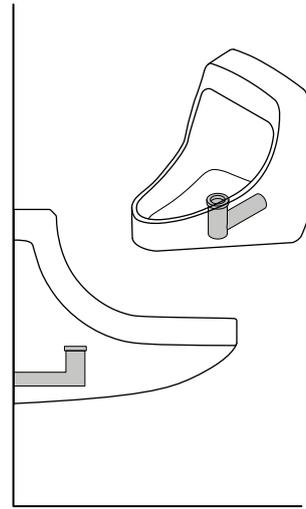
Bajo - medio

Entradas:  Orina  Agua de arrastre**Salidas:**  Orina +  Agua de arrastre

Urinario con descarga



Urinario seco



Urinario femenino

Un urinario se utiliza sólo para recolectar orina. Suelen ser para hombres, aunque también se han desarrollado modelos para mujeres. La mayoría de los urinarios usan agua para la descarga, pero los urinarios secos son cada vez más populares.

En la región los urinarios para hombres suelen ser unidades verticales montadas en la pared. Los urinarios para mujeres siguen siendo poco frecuentes y consisten en gradas y un canal inclinado o zona de captación que conduce la orina a un sistema especial de tuberías. El urinario 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 limitar los olores (usando un sello de agua).

En algunos espacios públicos, se instalan urinarios con descarga automática regular o se utilizan sensores fotoeléctricos para iniciar la descarga automática después de cada uso. Los urinarios pueden descargar en un sistema de tubería mixto que también capte las aguas negras o la orina puede recogerse por separado. Para conocer los beneficios de estos, consulte el inodoro de arrastre con desviación de orina (U.3) y el inodoro seco con desviación de orina (U.4).

Consideraciones de diseño Para urinarios con base en agua, el uso de agua por arrastre oscila desde menos de 2 l en los diseños actuales hasta varios litros en modelos antiguos. Se deben favorecer las tecnologías de ahorro de agua o aquellas sin uso de agua. Para minimizar los olores y la pérdida de nitrógeno en los diseños simples de urinarios secos, el tubo de recolección debe estar sumergido en el depósito de orina para que sirva como sello líquido.

Los urinarios secos están disponibles en una amplia gama de estilos y complejidades. Se recomiendan los urinarios equipados con un sello antiolor. Hay varios tipos de sellos antiolor, por ejemplo, el sello puede consistir en 2 lengüetas de goma o silicona que se abren y dejan pasar el líquido y luego se cierran de nuevo; o un sifón que contiene una barrera líquida que es más ligera que la orina y, por tanto, sirve de sello líquido. El nivel de complejidad de los urinarios secos con sellos antiolor es medio y requiere experiencia para su mantenimiento y reparación.

Si se pone una pequeña marca o se pinta una línea cerca del drenaje, se puede reducir la cantidad de rociado o salpicado; este tipo de orientación al usuario puede ayudar a mejorar la limpieza de las instalaciones. Dado que el urinario es exclusivamente para la orina, es importante proporcionar también un inodoro para las heces.

Idoneidad Los urinarios pueden usarse también en viviendas, para facilitar la separación de orina. Sin embargo, generalmente son colocados en instalaciones públicas. En algunos casos, la provisión de un urinario es útil para prevenir el uso indebido de sistemas secos (por ejemplo, UDDT, U.4). Los urinarios secos portátiles han sido desarrollados para ser usados en grandes 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 en un tiempo más apropiado), y los inodoros restantes pueden reducirse en número o ser utilizados más eficientemente.

Aspectos de salud/aceptación El urinario es una interfaz con el usuario cómoda y fácilmente aceptada. Aunque es simple en diseño y construcción, el urinario puede tener un gran impacto en el bienestar de una comunidad. Cuando los hombres tienen acceso a un urinario, 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 urinarios 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 urinarios secos. Todas las superficies deben limpiarse con regularidad (tazón, losa y pared) para evitar olores y minimizar la formación de manchas. En particular, en los urinarios secos, algunos minerales

y sales 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 urinarios secos es fundamental revisar de manera regular el funcionamiento del sello de olor. Dependiendo de la tecnología seleccionada se pueden requerir controles y repuestos específicos. Por lo tanto, el nivel de complejidad es desde bajo a medio.

Pros & Cons

- + El urinario seco no requiere una fuente constante de agua
- + Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente
- + Requiere poco capital y tiene bajos costos de operación
- Podría haber problemas con olores si no se usa y se mantiene correctamente
- La tecnología de los urinarios para mujeres aún no es ampliamente aceptada y todavía existen barreras de comportamiento contra su uso
- Modelos para mujeres no están ampliamente disponibles

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 239

Inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT por sus siglas en inglés)

Aplica a:
Sistema 5

Nivel de aplicación:

- (**) Viviendas privadas y edificios de oficinas
- (*) Instalaciones públicas y compartidas

Nivel de complejidad:

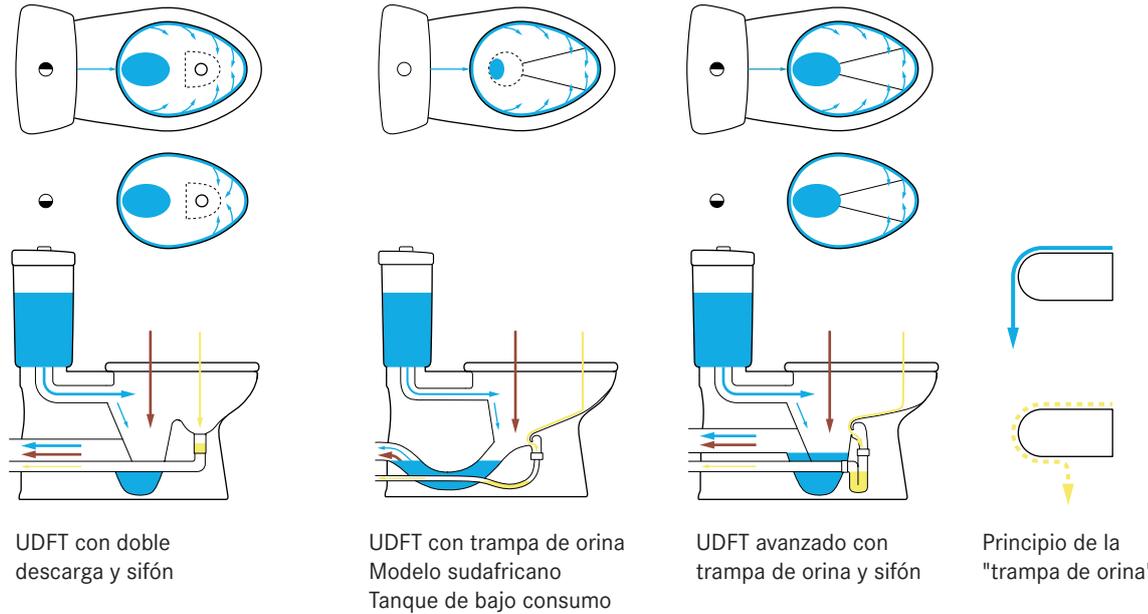
Bajo - medio

Entradas:

- Heces
- Orina
- Aguas de arrastre
- Agua de limpieza anal
- Materiales secos de limpieza

Salidas:

- Aguas negras
- Orina



El inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT) en apariencia es similar a un inodoro con tanque (U.1). Un diseño especial de la taza permite la desviación de la orina a un sistema de tuberías de desagüe separado.

La orina contiene la mayoría de los nutrientes de los excrementos humanos y suele estar libre de patógenos (excepción: infección urinaria). Por lo tanto, la separación de la orina de las heces y el agua de arrastre directamente en la interfaz con el usuario ahorra procesos de eliminación o recuperación de nutrientes, que requieren de mucha energía, son complejos y costosos durante el tratamiento de las aguas residuales.

Consideraciones de diseño El sistema requiere un sistema de desagüe doble, es decir, tuberías separadas para la orina y las aguas cafés (heces, material seco de limpieza y agua de arrastre). La separación de la orina de las aguas negras puede lograrse mediante diferentes tipos de diseños.

El diseño tradicional de la taza del UDFT (Dubletten y Wostman en Mitchell, 2013) tiene una sección separada para la recogida de orina. La orina se recoge en esta

sección en la parte delantera del inodoro y las heces se recogen en la parte trasera. Se utiliza una pequeña cantidad de agua para enjuagar la taza de recogida de orina cuando se descarga el inodoro ($\cong 0,3$ l o 0,08 gal). La orina fluye a través de un sistema de tuberías hacia un tanque de almacenamiento para su uso o procesamiento posterior. Las heces se eliminan con agua ($\cong 2,5$ l o 0,66 gal) en la tubería de desagüe. En el depósito de agua se instalan dos botones separados para permitir las diferentes descargas de agua (véase arriba a la izquierda).

Ha surgido un diseño completamente diferente, que realiza una desviación fiable de la orina con un diseño cercano al del inodoro tradicional, es decir, sin una separación de orina visible en la parte delantera de la taza. Este diseño de "trampa de orina" (EOOS, 2018, arriba a la derecha) permite descargar completamente la taza, incluida la parte de recogida de orina, utilizando el principio hidrodinámico del "efecto de tetera" para conducir la orina hacia una salida oculta situada en la cara interna de la tasa. La orina, que fluye a baja velocidad y cantidad, se desvía hacia una abertura situada debajo de la parte superior de la taza. El agua de lavado, con una velocidad mucho mayor, fluye hacia la parte inferior de la taza y desde allí, a través del sello antiolor, llega al desagüe del inodoro.

Además de los inodoros de arrastre con desviación de orina, existen también aquellos mismos, que pueden funcionar manualmente (agua vertida manualmente) o con una cisterna de 2l (véase p. 152). Para la descarga de la orina deben utilizarse tuberías de plástico con un diámetro mínimo de 2" para evitar la corrosión y la obstrucción. El sistema de tuberías conectado a los tanques de almacenamiento debe ser lo más corto posible y debe instalarse con una pendiente de al menos 1 %. Un sistema de tuberías con posibles puntos de acceso y que eviten los ángulos agudos (90°) permite un fácil mantenimiento. Deben utilizarse tuberías de mayor diámetro (> 3") cuando el acceso sea difícil.

Idoneidad Un UDFT es adecuado cuando hay suficiente agua para la descarga, una tecnología de tratamiento para las aguas cafés y un uso para la orina recolectada. Los UDFT son adecuados para aplicaciones públicas y privadas. Cuando se utilizan en baños públicos, se recomienda la instalación de urinarios (U.2) para hombres para mejorar la eficiencia de la desviación. Dado que esta tecnología requiere tuberías separadas para la recolección de orina y de agua café, la tubería es más compleja que la de los inodoros con tanque. El correcto diseño e instalación de las tuberías de orina es crucial y requiere experiencia.

Aspectos de salud/aceptación Al igual que el inodoro con tanque, la tecnología UDFT es una interfaz con el usuario que no supone ningún riesgo para la salud si se utiliza correctamente y se limpia con regularidad. Las quejas sobre las molestias por olores pueden evitarse con una limpieza periódica y la instalación de un sello contra los olores de la orina en las tuberías. Los UDFT tradicionales requieren formación y asesoramiento del usuario para su uso correcto. Cuando los niños utilizan este tipo de inodoro, las heces pueden caer en la sección de orina y la orina puede contaminarse con agentes patógenos. En Sídney (Australia) se ha llevado a cabo una investigación detallada sobre la aceptación social entre los usuarios (véase el anexo, que también incluye la instalación, la reutilización y la normativa).

Los UDFT que siguen el diseño de "trampa de orina" no requieren asesoramiento especial para su uso y aceptación adecuados, pueden ser utilizados por hombres, mujeres y niños de la misma manera que los inodoros con tanque comunes.

Operación y mantenimiento Al igual que con cualquier otro inodoro, la limpieza apropiada es importante para mantener la higiene y evitar que se formen manchas. Debido a que la orina es recolectada por separado, algunos minerales y sales de calcio y magnesio pueden precipitarse y acumularse en las tuberías y los accesorios. Lavar la taza con un ácido suave (por ejemplo, vinagre) y/o agua caliente puede prevenir la acumulación de depósitos minerales. La instalación de puntos de acceso en el sistema de tuberías de la orina permite una limpieza más fácil y la eliminación de obstrucciones cuando sea necesario. El vaciado regular y seguro de los tanques de almacenamiento de orina y su posterior procesamiento es esencial para el funcionamiento sostenible de esta tecnología. Los UDFT con sello antiolor tienen un nivel de complejidad de medio a alto y necesitan conocimientos técnicos para su instalación, reparación y mantenimiento.

Pros y contras

- + Los diseños de UDFT con "trampa de orina" pueden ser utilizados por hombres, mujeres y niños como cualquier inodoro con tanque, haciéndolo un producto realmente deseado
- + Requiere menos agua que un inodoro con tanque tradicional
- + No hay problema con los malos olores si se instala un sello antiolor y se usa correctamente
- + La separación de la orina simplifica y reduce el costo del tratamiento de las aguas residuales (cumpliendo las normas de vertido para la eliminación de nutrientes)
- + La política "Global Access" para la tecnología de la "trampa de orina" permite la producción sin licencia en ciertas regiones (incluida la mayor parte de la Región del Gran Caribe) y su reproducción con bajo costo a partir de plástico
- Disponibilidad limitada
- Mano de obra intensiva, incluyendo el tanque de almacenamiento de orina
- Los diseños sin "trampa de orina" son propensos al mal uso y a la obstrucción
- Requiere una fuente constante de agua

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 239

Inodoro seco con desviación de orina (UDDT por sus siglas en inglés)

Aplica a:
Sistema 6

Nivel de aplicación:

(**) Vivienda privada

Nivel de complejidad:

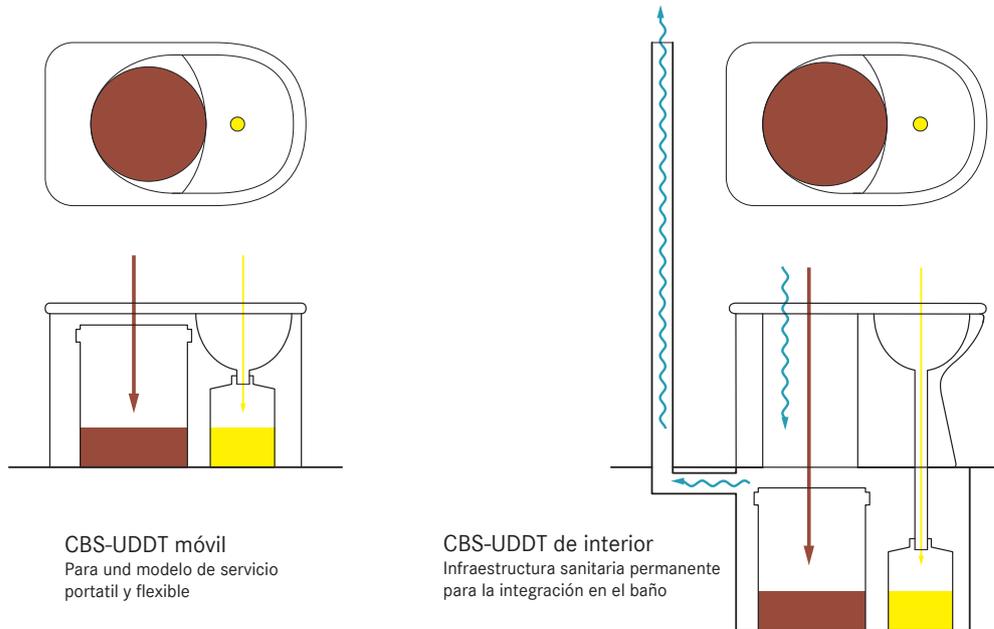
Bajo

Entradas:  Heces  Orina

 Agua de limpieza anal  Materiales secos de limpieza)

Salidas:  Heces (+  Materiales secos de limpieza)

 Orina  Agua de limpieza anal)



CBS-UDDT móvil
Para un modelo de servicio
portátil y flexible

CBS-UDDT de interior
Infraestructura sanitaria permanente
para la integración en el baño

El inodoro seco desviador de orina, también conocido como UDDT, funciona sin agua y tiene un separador para que el usuario pueda separar fácilmente la orina de las heces.

El UDDT está construido para que la orina sea recolectada y drenada desde el área frontal del inodoro, mientras que las heces caen por un gran conducto (agujero) en la parte posterior. Una pequeña cantidad de material secante, como cal, ceniza, aserrín, tierra o material orgánico rico en carbono, debe agregarse en el mismo agujero después de defecar. Se pueden encontrar muchos inodoros secos (con o sin desviación de orina) en asentamientos urbanos y periurbanos densamente poblados y a menudo informales. Por lo general, la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento que siguen es de pozo simple. Debido a que estos sistemas son difíciles de mantener y tienden a no estar revestidos, no son una buena opción para áreas atendidas por una empresa de servicio público. Por lo tanto, este compendio presenta los UDDT diseñados como un sistema de “Saneamiento Basado en Contenedores” (CBS por sus siglas en inglés), es decir, un servicio integral que recolecta higiénicamente la orina y las heces de los inodoros construidos con recipientes

impermeables y extraíbles, donde se garantiza que los productos se traten de forma segura y sean reutilizados en la medida de lo posible. Por ello, además de explicar el UDDT, esta ficha tecnológica presenta la integración de dos grupos funcionales: la interfaz con el usuario (U) y la recolección y el almacenamiento/tratamiento (S).

Consideraciones de diseño Es importante que las dos secciones del inodoro estén bien separadas para garantizar que a) las heces no caigan ni obstruyan el área de recolección de orina en la parte frontal, y b) la orina no salpique hacia abajo en la zona seca del inodoro. En las últimas décadas se han desarrollado y evaluado varios sistemas UDDT basados en contenedores que cumplen estos requisitos. Tres de los fabricantes/proveedores de servicios están operando en América Latina y el Caribe (véase referencias, p. 246).

Las siguientes consideraciones de diseño son importantes en lugares donde se construirán los UDDT como estructuras permanentes. 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 UDDT. 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 de al menos 1 %, y deben evitarse los ángulos agudos (90°). Un diámetro de tubería de 2” es suficiente para pendientes pronunciadas, donde el mantenimiento es fácil. En otros casos, especialmente para pendientes mínimas o donde el acceso es difícil, deberían usarse tuberías de mayor diámetro (> 3”). Para evitar que los olores salgan por la tubería, debe instalarse un sello antiolor en el desagüe de orina. Si es posible, debería considerarse en el diseño una tubería de ventilación, ya que esto ayuda a reducir los olores y las molestias de las moscas. Se puede conseguir una mayor comodidad con mecanismos o elementos en el inodoro que permitan tapar el contenedor de heces cuando no se utilice.

Idoneidad El UDDT es fácil de diseñar y construir, utilizando materiales como el concreto y malla metálica o plástica. El diseño del UDDT puede modificarse para adaptarlo a las necesidades de poblaciones específicas (por ejemplo, más pequeño para niños, personas que prefieren estar en cuclillas, etc.). El UDDT tiene un bajo nivel de complejidad y es fácil de mantener y reparar.

Aspectos de salud/aceptación El uso del UDDT no es intuitivo o inmediatamente obvio para algunos usuarios. Al principio, éstos pueden tener dudas sobre su uso, y cometer errores (por ejemplo, dejar heces en la sección de la orina) puede disuadir a otros de aceptar este tipo de inodoro. Los proyectos de demostración y el entrenamiento son esenciales para lograr una buena aceptación por parte de los usuarios. Para una mejor aceptación del sistema y para evitar la presencia de orina en sección de recolección de heces, el inodoro puede combinarse con un urinario (U.2), para permitir que los hombres orinen de pie.

Operación y mantenimiento Un UDDT es un poco más difícil de mantener limpio en comparación con otros inodoros, 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 pueden tener dificultades para separar perfectamente ambos flujos, lo que puede dar lugar a una limpieza y mantenimiento adicionales. Las heces pueden depositarse de manera accidental en la sección de orina, causando obstrucción y problemas de limpieza.

Todas las superficies deben limpiarse regularmente para evitar los olores y minimizar la formación de manchas. No se debe verter agua en el inodoro para la limpieza. En su lugar, se puede utilizar un paño húmedo para limpiar el asiento y las partes interiores. Algunos inodoros son

fácilmente desmontables y pueden limpiarse más a fondo. Es importante que las heces permanezcan separadas y secas. Cuando se limpie el inodoro con agua, hay que tener cuidado de que las heces no se mezclen con el agua.

Debido a que la orina es recolectada por separado, algunos minerales y sales de calcio y magnesio pueden precipitarse y acumularse en las tuberías y en las superficies donde la orina está presente de manera constante. El lavado de la taza con un ácido suave (por ejemplo, vinagre) o agua caliente puede prevenir la acumulación de depósitos e incrustaciones minerales. Para eliminar las obstrucciones se puede utilizar un ácido más fuerte (> 24 % acético) o una solución de soda cáustica (dos partes de agua por una parte de soda). Sin embargo, en algunos casos puede ser necesaria la extracción manual. Un sello antiolor también requiere un mantenimiento ocasional. Es fundamental revisar a menudo su funcionamiento.

Pros y contras

- + No requiere una fuente constante de agua
- + No hay problemas reales con moscas ni malos olores si se usa y mantiene correctamente
- + Puede construirse y repararse con materiales disponibles localmente
- + Tiene bajos costos de capital y de operación
- + 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)
- Los modelos prefabricados no están disponibles en todas partes
- Requiere entrenamiento y aceptación para ser utilizado de manera correcta
- Es propenso al mal uso y a la obstrucción con heces.
- La pila de excrementos está a la vista
- Los hombres generalmente requieren un urinario por separado para una óptima recolección de la orina

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 240

Esta sección describe las tecnologías para recolectar y almacenar los productos generados en la interfaz con el usuario. Algunas de las tecnologías presentadas aquí están diseñadas específicamente para el tratamiento, mientras que otras están diseñadas para la recolección y el 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 de energía). Debido al periodo de almacenamiento implícito en el diseño de estas tecnologías, existe una baja amenaza de contaminación.

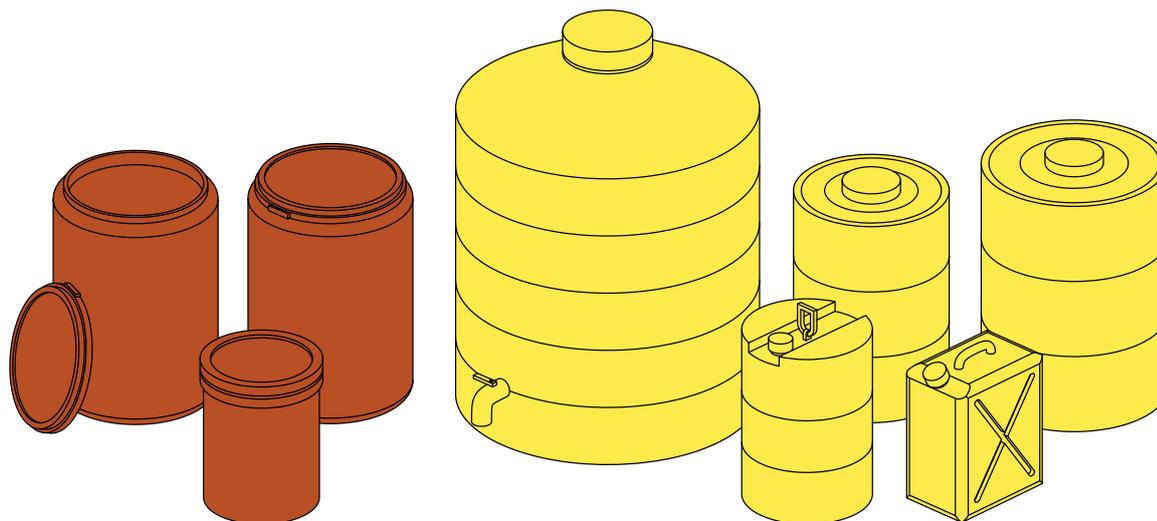
- S.1 Tanque de almacenamiento/contenedor
- S.2 Tanque de retención
- S.3 Tanque séptico
- S.4 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)
- S.5 Filtro anaerobio
- S.6 Reactor de película fija aireado sumergido (SAFF)

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 salida deseados
- Disponibilidad de tecnologías para el posterior transporte
- Recursos financieros
- Consideraciones sobre la gestión
- Preferencias del usuario



Nivel de aplicación: (**) Vivienda (**) Vecindario (**) Ciudad	Nivel de complejidad: (**) Vivienda (**) Compartido (**) Público	Entradas: Orina Heces
		Salidas: Orina Orina almacenada Heces



Los contenedores de plástico se pueden utilizar para el almacenamiento y transporte de la orina y las heces. La orina puede almacenarse *in situ* en bidones, contenedores impermeables o tanques (color amarillo). Los contenedores para las heces (color marrón) pueden ser barriles de plástico, baldes simples o contenedores especialmente diseñados que encajan en el espacio diseñado de la interfaz con el usuario (UDDTs).

Además, se pueden utilizar tanques y contenedores para almacenar la orina con el fin de estabilizarla y permitir su uso más seguro. La orina contiene una alta proporción de urea, la cual se convierte rápidamente en amoníaco durante el almacenamiento, una reacción catalizada por la enzima ureasa. El amoníaco tiene un fuerte olor, por lo que la orina almacenada en tanques o contenedores que no están completamente sellados ocasionarían molestias por su fuerte olor. Muchas tecnologías de tratamiento de la orina inhiben esta reacción y la convierten en un líquido concentrado y más estable o en un fertilizante cristalino. (“Guía para la recuperación de recursos sanitarios”, p. 76ss: Nitrificación y destilación, precipitación de estruvita y deshidratación alcalina de la orina). Los contenedores para heces se usan para el transporte desde el usuario

de un sistema de “Saneamiento Basado en Contenedores” (CBS, por sus siglas en inglés) hasta la planta de tratamiento. Deben evitarse tiempos de almacenamiento muy prolongados para evitar la posible producción de biogás si la humedad del contenedor permite la descomposición anaerobia.

Consideraciones de diseño El tamaño del tanque de almacenamiento de orina debe ser apropiado para el número de usuarios y el tiempo necesario para higienizar la orina. Generalmente, se acepta que la orina es segura para la aplicación agrícola familiar si se almacena por lo menos durante un mes. Si la orina se utiliza para cultivos que serán consumidos por otras personas diferentes al mismo productor, esta debe ser almacenada durante seis meses antes de su uso (WHO, 2006). En promedio, una persona genera alrededor de 1,2l de orina por día; sin embargo, esta cantidad puede variar significativamente dependiendo del clima y el consumo de líquidos. Los tanques pueden ser de plástico (por ejemplo, polietileno de alta densidad) o de fibra de vidrio. Estos deben tener una abertura con cierre hermético en la parte superior y pueden tener una salida con grifo en la parte inferior. Los tanques permanentes también pueden ser de concreto. El uso de tanques

de metal debe evitarse, ya que pueden corroerse fácilmente por el alto pH de la orina almacenada. No se debe ventilar el tanque de almacenamiento, ni las tuberías de recolección para evitar las emisiones de olores de amoníaco, pero ambos deben estar equilibrados en presión. Si el tanque de almacenamiento está conectado directamente al inodoro o urinario, se debe tener cuidado de minimizar la longitud de la tubería, ya que los precipitados se pueden acumular.

En los sistemas CBS, los contenedores de heces forman parte de la interfaz con el usuario y su tamaño depende de varios factores: el tamaño del inodoro, la cantidad de personas que lo usan y, por lo tanto, la frecuencia con la que se debe vaciar el inodoro, y la facilidad para detectar su capacidad máxima. Los contenedores llenos se sellan y luego se recogen y transportan a las instalaciones de tratamiento (véase C. 1). En el camino, el contenido fecal podría vaciarse en contenedores más grandes, como barriles con cierre hermético. Todos los contenedores de heces son de plástico. Su apertura debe corresponder a su diámetro para facilitar el vaciado y la limpieza. El cierre de la tapa debe ser seguro y permitir el almacenamiento y el transporte sin riesgo de apertura accidental durante la manipulación. Por lo general, estos contenedores suelen usarse durante un breve periodo de tiempo para permitir el transporte de heces al depósito o a la instalación de tratamiento final antes de ser limpiados, higienizados y devueltos al usuario.

Idoneidad Los tanques de almacenamiento de orina son más apropiados cuando se necesitan los nutrientes como fertilizante para la agricultura, estos pueden ser suministrados por la orina almacenada. Cuando no hay esa necesidad, pero un sistema CBS ofrece una solución sanitaria apropiada, la orina debe ser desechada de manera adecuada. Los tanques de almacenamiento de orina pueden instalarse prácticamente en cualquier entorno: en el interior, en el exterior, en la superficie o bajo tierra, dependiendo del clima, el espacio disponible y las condiciones del suelo.

Los contenedores para las heces son un componente esencial del Saneamiento Basado en Contenedores (CBS) y proporcionan un transporte seguro hacia las plantas de tratamiento.

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

El uso de equipos de protección personal es obligatorio para manipular los contenedores de orina y heces. La limpieza y

desinfección adecuadas de los contenedores son acciones esenciales dentro de los procedimientos de operación.

Operación y mantenimiento El tanque de orina puede vaciarse a través de la abertura superior o, si está disponible, a través del grifo inferior. Si el tanque de almacenamiento se vacía con un camión de succión (véase C.2), debe garantizarse un suministro de aire suficiente para que el tanque no implote debido al vacío. En el fondo del tanque de almacenamiento se acumulará un lodo viscoso. Si el tanque de almacenamiento se vacía por completo, el lodo generalmente se vaciará junto con la orina, pero si no es así, es posible que sea necesario eliminar este lodo. 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 (ácido acético al 24 %). Debido a que la orina es fluida y casi estéril, los contenedores de orina son mucho más fáciles de vaciar y limpiar que los contenedores de heces. El llenado y vaciado de los contenedores de heces y su limpieza son acciones críticas en la cadena de servicio de los sistemas CBS. Se necesitan herramientas y dispositivos de vaciado apropiados para evitar los derrames fecales y la contaminación ambiental. La mayoría de los operadores de CBS prefieren desinfectar sus contenedores en lugar de esterilizarlos. Técnicamente, la desinfección implica la eliminación de la mayoría de los organismos patógenos. Esto es diferente de la limpieza, que generalmente elimina contaminantes y sólidos visibles de las superficies, y de la esterilización, un nivel de descontaminación extremadamente alto que asegura que todos los organismos hayan sido eliminados.

Pros y contras

- + Tecnología robusta y sencilla
- + Los costos de capital son bajos
- + Los contenedores están ampliamente disponibles y son reutilizables
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos para el contenedor de almacenamiento de orina
- + La orina almacenada puede ser usada como fertilizante
- + Bajos costos de operación, pero la limpieza de los contenedores puede requerir mucha mano de obra
- Olor de leve a moderado al abrir y vaciar el depósito
- Puede requerir un vaciado frecuente (dependiendo del tamaño del contenedor o tanque)
- Posible contaminación ambiental cuando se realiza la limpieza de los contenedores en lugares inadecuados

Referencias y lecturas adicionales

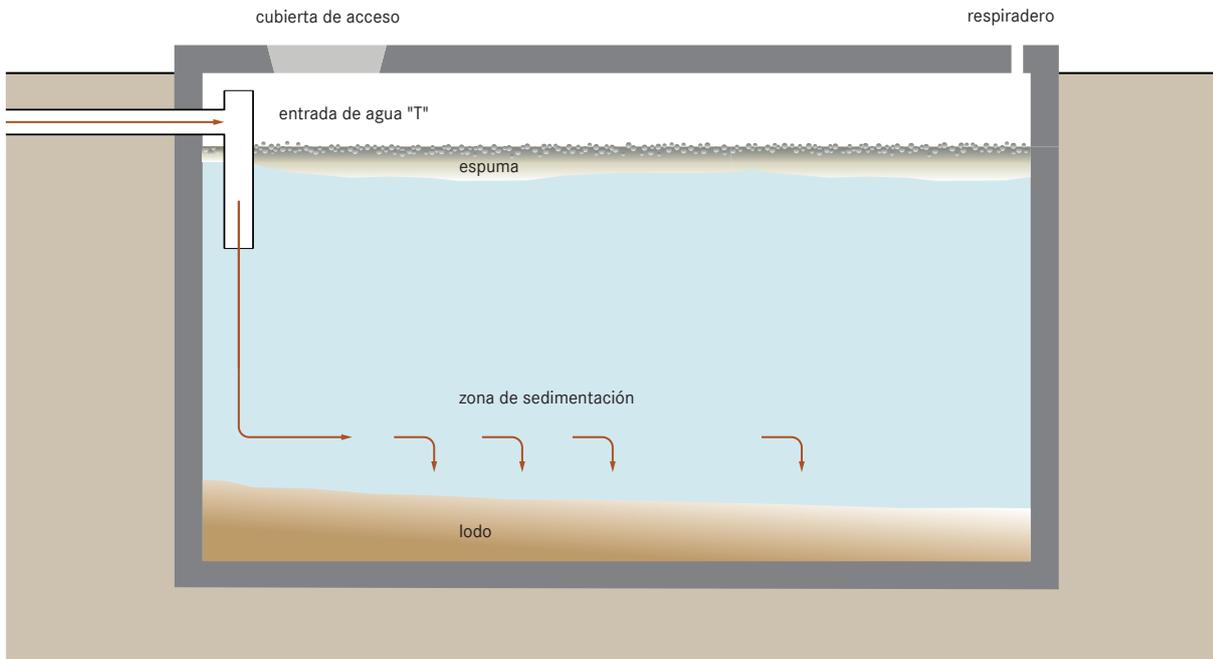
se encuentran en la página 240

Nivel de aplicación:

- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de complejidad:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas: Aguas negras Aguas grises**Salidas:** Aguas residuales
incluyendo Lodos fecales

El tanque de retención es un depósito impermeable sin salida, capaz de almacenar el volumen de aguas residuales generado en una vivienda o institución durante varios días. Una condición previa para esta tecnología es contar con la disponibilidad de un servicio de vaciado.

Un tanque de retención permite recoger y almacenar temporalmente las aguas residuales para su posterior recogida y transporte a un lugar autorizado para su tratamiento y reúso/disposición final. Los tanques de retención no realizan ningún tratamiento a las aguas residuales. Cuando el uso *in situ* del efluente no es posible o no está permitido y no se dispone de alcantarillado, incluso los tanques sépticos funcionan como tanques de retención, aunque su diseño permite la separación de las fases líquida y sólida.

Consideraciones de diseño El sistema de tanque de retención debe estar ubicado de tal manera que facilite su bombeo y al mismo tiempo limite la exposición del público en general a las aguas residuales y a las molestias causadas por los derrames durante el bombeo.

El tanque de retención debe ser diseñado, construido e instalado asegurando su impermeabilidad, y a su vez, debe soportar los esfuerzos asociados con las cargas internas y externas, así como con los efectos del contacto con las aguas residuales sin tratamiento. El tanque de retención debe ser suficientemente estable para evitar que flote cuando esté vacío, durante los periodos con nivel freático elevado si se manifiestan tales eventos. El tanque se mantiene estable, si se instala por encima del nivel de las aguas subterráneas, o si las “alas laterales” anclan el depósito en el terreno circundante. Para establecer la capacidad de un tanque de retención, se debe tener en consideración tanto los aspectos de diseño como los operativos. La capacidad de almacenamiento requerida depende de dos aspectos: el caudal diario de aguas residuales y la frecuencia de vaciado disponible u óptima. Los dispositivos de ahorro de agua, por ejemplo, inodoros de baja descarga o los accesorios de ahorro de agua, pueden ampliar los intervalos de tiempo entre los vaciados. Asimismo, instalar alarmas sonoras y visuales es una buena práctica para evitar el desbordamiento. Las alarmas deben estar configuradas para señalar los niveles para el “tiempo de bombeo” y “exceso del volumen de almacenamiento de reserva”. Las señales de alarma deben

estar ubicadas fuera de la instalación, con alimentación por batería donde no se tenga disponible la energía eléctrica.

Idoneidad Esta tecnología es apropiada para lugares donde no hay conexión a un sistema de alcantarillado y las tecnologías de tratamiento de aguas residuales *in situ* que producen efluentes, no son una opción (por ejemplo, no se tiene espacio disponible o está prohibida la infiltración debido a la protección de las aguas subterráneas). Como en el caso de todas las infraestructuras subterráneas, el subsuelo rocoso también puede impedir la elección de esta tecnología.

El uso temporal de los tanques de retención se puede encontrar en lugares como obras de construcción o grandes festivales. También puede implementarse en situaciones de emergencia y usarse hasta poner en marcha un sistema permanente de conducción y tratamiento.

Aspectos sanitarios/Aceptación En condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con las aguas residuales, pero existe el riesgo de que se produzcan problemas operativos o de gestión que provoquen la exposición del público debido al desbordamiento ocasional del tanque. Por esta razón, el uso de un tanque de retención debe estar estrictamente regulado por las agencias locales o nacionales.

Operación y mantenimiento El sistema requiere un servicio de vaciado y transporte motorizado (C.2) y el tratamiento y disposición externa de las aguas residuales generadas *in situ*. Para garantizar que el vaciado pueda

realizarse de forma eficiente, el sistema debe diseñarse, instalarse y mantenerse de manera que se facilite el acceso y la limpieza de las instalaciones después de cada servicio de vaciado.

Dependiendo de la instalación a la que se preste el servicio o del conjunto particular de circunstancias que rodean el uso de un tanque de retención, el costo operativo del vaciado y transporte motorizado y descarga en una facilidad autorizada puede ser muy elevado, especialmente a largo plazo.

La sedimentación y flotación de sólidos puede ocurrir durante el almacenamiento. Sin embargo, todo el material del tanque de retención se vacía durante el bombeo.

Pros y contras

- + Sistema sencillo para lugares donde no es viable el tratamiento de aguas residuales *in situ* o donde el agua no puede ser infiltrada ni recolectada por un sistema de alcantarillado
- + Requiere un área de terreno pequeña (la mayor parte de la estructura puede construirse bajo tierra)
- + No requiere energía eléctrica
- + Larga vida útil
- + Puede incentivar a los usuarios a ahorrar agua
- Debido al vaciado y transporte regular de las aguas residuales, los costos operativos son elevados
- Requiere un mecanismo confiable de control del nivel del tanque

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 240

Nivel de aplicación:

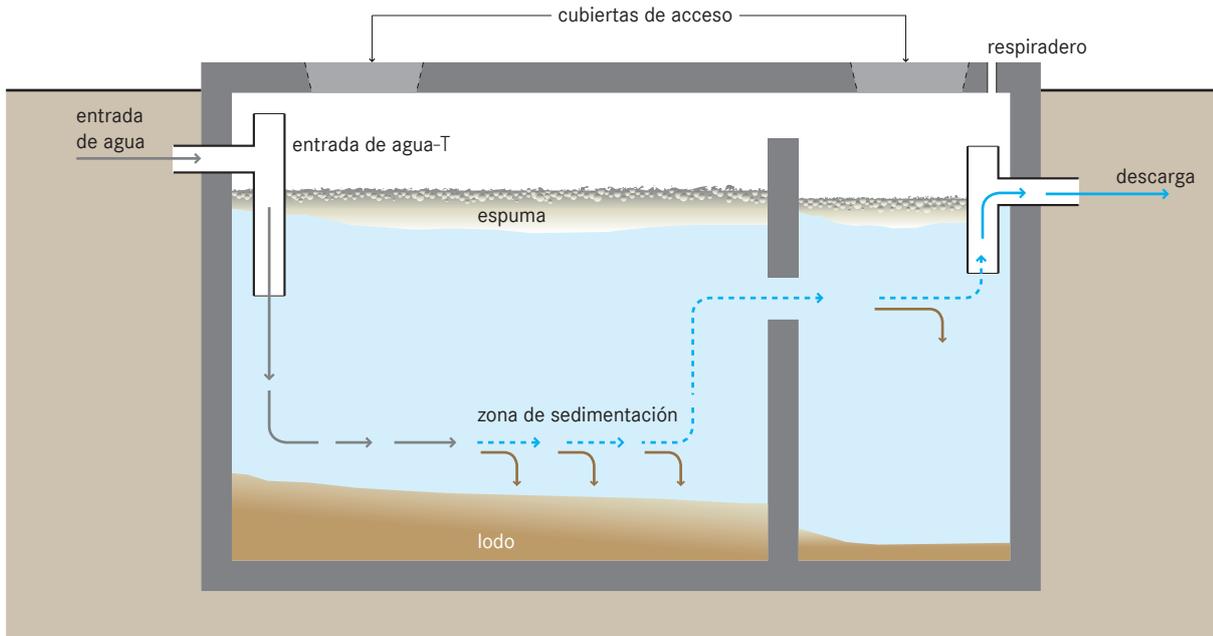
- ** Vivienda
- ** Vecindad
- Ciudad

Nivel de manejo:

- ** Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Inputs: Aguas negras Aguas cafés
 Aguas grises

Outputs: Efluente Lodos



El tanque séptico es una cámara impermeable, hecha de concreto, fibra de vidrio o plástico, a través de la cual fluyen aguas negras y aguas grises para su tratamiento primario. Los procesos de sedimentación y tratamiento anaerobio, reducen los materiales sólidos y los orgánicos, pero el tratamiento sólo es moderado.

El líquido fluye a través del tanque y las partículas pesadas se sedimentan 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 del tanque séptico debe infiltrarse mediante un pozo de absorción (R.5) o lecho de infiltración (R.6), o bien, debe ser transportado a otra tecnología de tratamiento a través, por ejemplo, de un alcantarillado libre de sólidos (C.4). Generalmente, puede esperarse la eliminación de 50 % de sólidos, 30 a 40 % de DBO y una reducción de un orden logarítmico de E. coli en un tanque séptico bien diseñado y mantenido; aunque la eficiencia varía mucho, dependiendo de su operación y mantenimiento, así como de las condiciones climáticas.

Consideraciones de diseño Un tanque séptico debe tener al menos dos cámaras. La primera tiene que medir al menos 50 % de la longitud total y, cuando sólo haya dos cámaras, esta debe tener 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. Se requiere la accesibilidad a todas las cámaras (a través de tapas de acceso) para el mantenimiento. Los tanques sépticos deben ventilarse para controlar la liberación de gases olorosos y potencialmente dañinos. El diseño de un tanque séptico depende del número de usuarios, la cantidad de agua usada per cápita, la temperatura media anual, la frecuencia de retiro del lodo y las características de las aguas residuales. El tiempo de retención debe ser de 48 horas para lograr un tratamiento moderado.

Para cumplir con las normativas de vertimiento más estrictas, los niveles de eliminación de la DBO pueden aumentarse significativamente instalando un sistema sencillo de aireación, por ejemplo, una bomba de aire de diafragma que inyecte aire en el segundo compartimento del tanque séptico. Los tubos perforados instalados en el

fondo del tanque distribuyen el flujo de aire. Esto aumenta la producción de lodos y, en consecuencia, se acortan los intervalos de limpieza de lodos. Sin embargo, se puede conseguir una eliminación mucho mejor de la DBO equipando el tanque séptico con un módulo de película fija aireada sumergida (véase S.6, SAFF).

Idoneidad Esta tecnología se aplica más comúnmente para un nivel de vivienda. Se pueden diseñar tanques sépticos más grandes y con varias cámaras para grupos de viviendas o edificios públicos (por ejemplo, escuelas). Un tanque séptico es apropiado donde haya una manera de dispersar o transportar el efluente. Si se utilizan tanques sépticos 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, los tanques sépticos 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 los tanques sépticos son impermeables al agua, se recomienda no construirlos en zonas con niveles freáticos altos, o donde haya inundaciones frecuentes. Dado que el tanque séptico debe ser desenlodado regularmente, es necesario que el camión de succión tenga acceso al sitio. A menudo, los tanques sépticos se instalan en las viviendas bajo la cocina o el baño, lo que dificulta su vaciado. Los tanques sépticos 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, ya que pueden liberarse gases inflamables y tóxicos.

Operación y mantenimiento Debido a su ecología delicada, se debe tener cuidado de no descargar productos químicos fuertes en el tanque séptico. Los niveles de espuma y lodo deben ser monitoreados para garantizar que el tanque esté funcionando bien. En general, el tanque séptico tiene que vaciarse cada dos años. Se recomienda usar la tecnología de vaciado y transporte motorizado (C.2). Los tanques sépticos deben revisarse periódicamente para garantizar que sigan siendo impermeables 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 una limpieza de lodos frecuente
- El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o apropiada infiltración o descarga

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 241

Reactor anaerobio con deflectores

(ABR por sus siglas en inglés)

Aplica a:
Sistemas 1, 2

Nivel de aplicación:

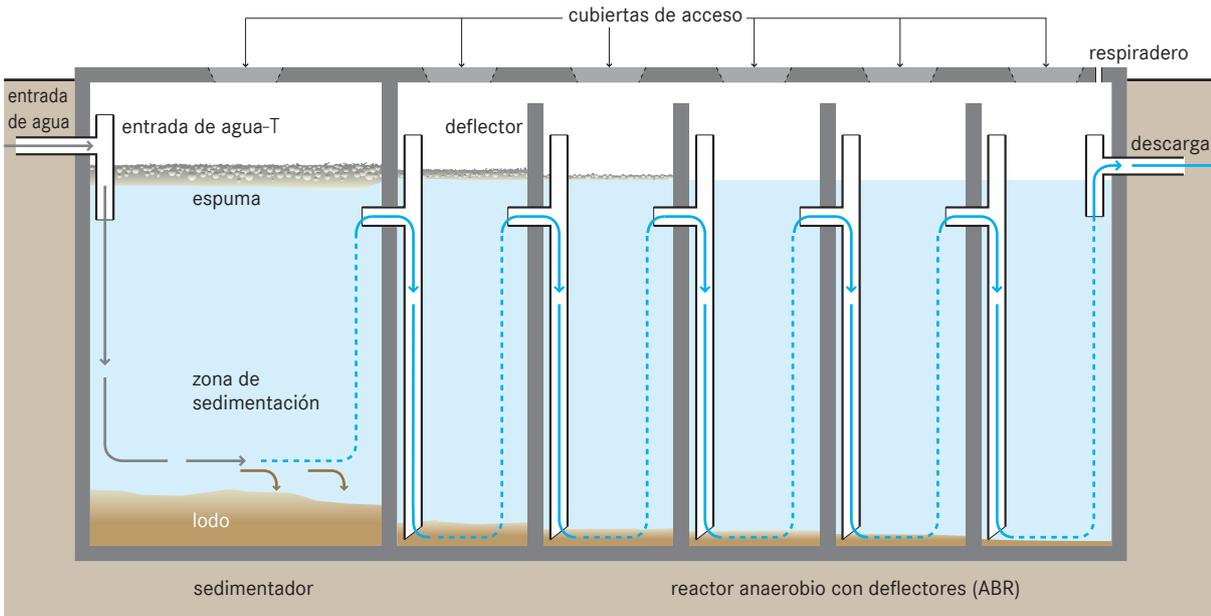
- * Vivienda
- ** Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- ** Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Aguas negras Aguas cafés
 Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



El reactor anaerobio con deflectores (ABR) es un tanque séptico (S.3) mejorado, tiene una serie de cámaras en las cuales las aguas residuales son forzadas a fluir. El tiempo de contacto aumentado con la biomasa activa (lodo) se traduce en un mejor tratamiento.

Las cámaras de flujo ascendente proporcionan mayor remoción y digestión de la materia orgánica. La DBO puede reducirse hasta 90 %, que es muy superior a la remoción en un tanque séptico convencional.

Consideraciones de diseño La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en la cámara de sedimentación inicial del ABR. Las unidades independientes de pequeña escala suelen tener un compartimento de sedimentación integrado, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, tanque séptico 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 (semi)centralizado, que combinan el ABR con otra tecnología para la sedimentación, o donde se usan unidades prefabricadas y modulares. Los flujos típicos son de 2 a 200 m³ 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 tapas de acceso) es necesaria para el mantenimiento. En general, el biogás producido en un ABR mediante digestión anaerobia no es recolectado ya que se produce muy poco. El tanque debe ventilarse para evitar una liberación de gases posiblemente dañina u olorosa.

Idoneidad Esta tecnología puede ser adoptada fácilmente en viviendas, en pequeños vecindarios o, incluso, en áreas más grandes. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. Un ABR (T.3) (semi)centralizado es apropiado cuando existe una tecnología de conducción preexistente, como un alcantarillado simplificado (C.3). 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 de succión pueda extraer 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 un tanque séptico. Las bacterias activas agregadas pueden multiplicar y adaptarse a las aguas residuales entrantes. Debido a su ecología delicada, 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.2). La frecuencia del vaciado del lodo 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 impermeables al agua.

Pros y contras

- + Resistente a cargas orgánicas e hidráulicas bruscas
- + No requiere energía eléctrica
- + Bajos costos de operación
- + Larga vida útil
- + Alta reducción de DBO
- + Baja producción de lodo; con el lodo 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

References & Further Reading

se encuentran en la página 241

Nivel de aplicación:

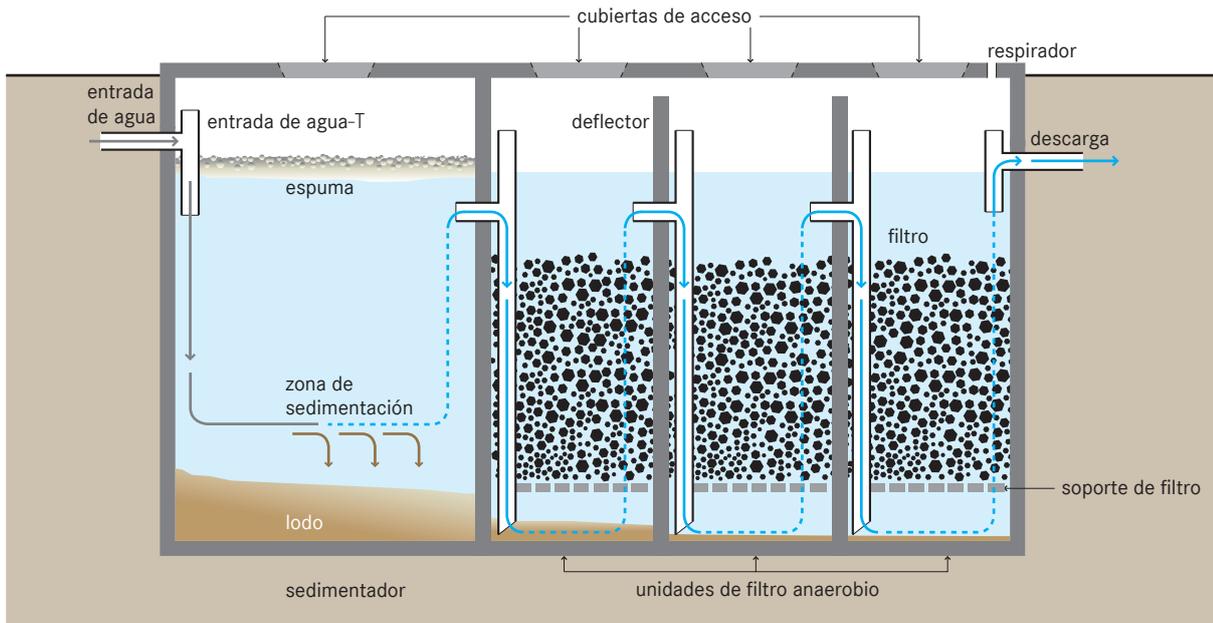
- * Vivienda
- ** Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- * Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entrada: Aguas negras Aguas cafés
 Aguas grises

Salida: Efluente Lodos



El 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 adherida 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 situada delante del filtro anaerobio. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes poseen un compartimento de sedimentación integrado, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología previa (por ejemplo, tanque séptico existente). Los diseños sin un compartimento 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. 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 el crecimiento de las bacterias, con poros lo suficientemente grandes para evitar atascos. La superficie garantiza un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa adherida que la degrada. Idealmente, el material debe proporcionar entre 90 y 300 m² 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 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. Es necesaria la accesibilidad a todas las cámaras (a través de tapas de acceso) 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 áreas de mayor tamaño. Es más adecuada donde se genera una cantidad relativamente constante de aguas negras y aguas grises. El filtro anaerobio puede utilizarse como tratamiento secundario, con el fin de reducir la carga orgánica para etapas posteriores del 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 de succión es importante, ya que la tecnología requiere el vaciado de lodos.

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 paso posterior de tratamiento. 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 del tanque séptico 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 masa bacteriana adherida 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 impermeables 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
- Es engorrosa la remoción y limpieza del material del filtro obstruido

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 241

Reactor de película fija aireado sumergido (SAFF por sus siglas en inglés)

Aplica a:
Sistemas 1, 2

Nivel de aplicación:

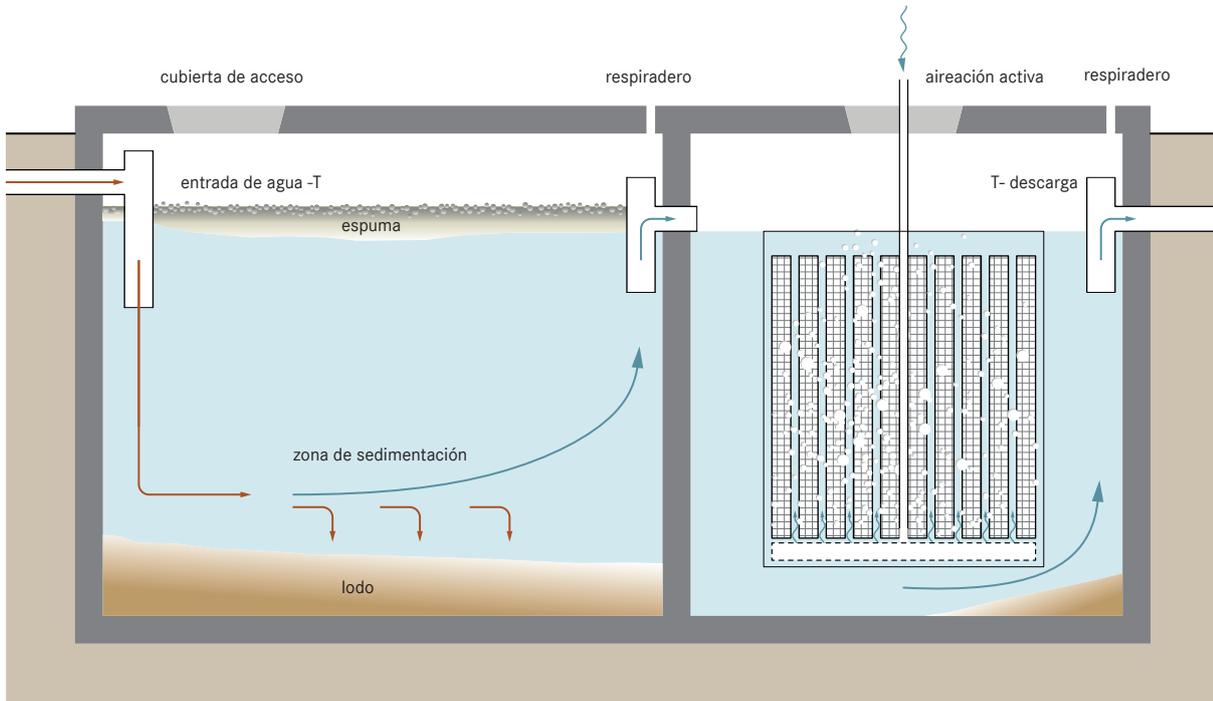
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas: Aguas negras Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



El reactor de película fija aireado sumergido (SAFF) es un proceso robusto de tratamiento biológico de aguas residuales que emplea un medio inerte como roca, plástico, madera u otro material sólido natural o sintético que soporta el crecimiento de la biomasa en su superficie.

Como alternativa, las tecnologías de tratamiento como los reactores de biopelícula de lecho móvil (MBBR), los reactores discontinuos tipo batch (SBR) o los biorreactores de membrana (MBR), pueden ofrecer un rendimiento similar en un rango de costos comparable. Por lo tanto, el SAFF que aquí se presenta ha sido elegido para representar esta gama de tecnologías comparables.

Las unidades SAFF se instalan en cámaras impermeables (normalmente subterráneas) después de un tratamiento primario, como un tanque de sedimentación o un tanque séptico. Este tratamiento preliminar es necesario para retener los sólidos y como paso previo de homogeneización. El aire se introduce al sistema mediante un ventilador, generalmente instalado fuera de la cámara. El flujo de aire proporciona oxígeno a la biomasa, asegura una mezcla eficiente del efluente y libera cualquier exceso

de sólidos del medio, eliminando la necesidad de un sistema de retrolavado.

La función principal del reactor SAFF es reducir la concentración de materia orgánica presente en el agua residual (reducción de DBO y DQO). Es común que este tipo de sistema genere un efluente con concentraciones de DBO de 25 mg/l o menos. Debido a que la biomasa fija combina las zonas aerobia, anaerobia y anóxica, también puede reducir la concentración de amonio NH_4 , por lo tanto, un reactor SAFF proporciona un mejor rendimiento de nitrificación/desnitrificación que los sistemas tradicionales como los tanques sépticos.

Consideraciones de diseño El tanque de sedimentación, ubicado antes de la unidad SAFF, debe tener un tiempo de retención hidráulica de al menos 12 horas para asegurar la correcta sedimentación de las partículas. Además, todos los sólidos grandes y la espuma flotante deben eliminarse antes de la entrada del SAFF para evitar la obstrucción del medio filtrante. El medio de soporte para los reactores SAFF suele estar fabricado con láminas de polipropileno soldadas para conformar bloques que presentan una gran superficie de contacto ($100 - 230 \text{ m}^2 / \text{m}^3$) y un volumen libre superior al 90 %

para la fijación de la biopelícula (véase la ilustración arriba). Una unidad SAFF puede instalarse por encima del nivel del suelo, pero normalmente se construye bajo tierra a continuación de un tanque séptico o se puede adaptar a los tanques existentes. Cuando se construye bajo tierra, no es perceptible desde el exterior. Es necesario suministrar energía constante al soplador (24 horas al día, 7 días a la semana) y el soplador debe ser mantenido regularmente. Los reactores SAFF pueden implementarse de forma modular para grupos de casas y/o edificios públicos (por ejemplo, escuelas).

Idoneidad Un SAFF puede instalarse en cualquier tipo de clima, aunque la eficacia será menor a temperaturas más bajas. Un reactor SAFF es apropiado cuando existe una forma de infiltrar, dispersar o reutilizar el efluente. El efluente de alta calidad evita la obstrucción del lecho de infiltración (R.6) y puede utilizarse para la aplicación de efluente/irrigación (R.4). Consideraciones similares se aplican a las tecnologías de tratamiento alternativas de esta categoría. Los SBR suelen ser una opción más barata, aunque no consiguen la misma reducción de DBO/DQO; los MBR suelen conseguir el mayor rendimiento de tratamiento y son apropiados para lugares especialmente sensibles. Al mismo tiempo, suelen tener un costo más elevado tanto en la inversión inicial como en el funcionamiento a largo plazo debido al costo de las membranas. Como se ha mencionado en la sección anterior, el SAFF y sus tecnologías alternativas son muy adecuados para el reequipamiento y mejora de los tanques sépticos existentes.

Aspectos de salud/aceptación Esta tecnología es aceptada como una adaptación simple y eficiente para la mejora de los tanques sépticos, así como también una solución independiente para los nuevos desarrollos de viviendas. En condiciones normales de funcionamiento, los usuarios no entran en contacto con el afluente o el efluente.

Operación y mantenimiento Es necesario suministrar energía constante al soplador (24 horas al día, 7 días a la semana) y se requiere un mantenimiento periódico por parte de un proveedor de servicios profesional. Dado que el tanque séptico o el compartimento de sedimentación deben ser deslodados con regularidad, debe considerarse el acceso al lugar para un camión de succión. En cuanto a las tecnologías alternativas, la disponibilidad de un proveedor de servicios profesionales a nivel local para la resolución de problemas ocasionales y el mantenimiento periódico, incluidas las piezas de repuesto, puede ser el factor clave para el funcionamiento sostenible de la tecnología, sin duda más importante que la propia elección de la tecnología (ya sea SAFF, MBBR, SBR o MBR).

Pros y contras

- + Tecnología robusta con bajos requisitos de mantenimiento
- + No hay piezas móviles ni componentes mecánicos en el interior de la cámara
- + Efluentes de alta calidad
- + Se necesita una pequeña superficie, normalmente se construye bajo tierra
- + 95-98 % de reducción de la DBO
- + Larga vida útil
- Requiere un suministro de energía constante
- Debe garantizarse la eliminación regular de los lodos
- El soplador requiere mantenimiento o sustitución después de 10 años aproximadamente.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 242

Las tecnologías de esta sección tienen que ver con los productos generados en la interfaz con el 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 reúso y/o disposición final. Son tecnologías basadas en alcantarillados (C.3-C.5), o tecnologías basadas en contenedores de vaciado manual o motorizado y transporte (C.1-C.2).

C.1 Transporte manual

C.2 Vaciado y transporte motorizados

C.3 Alcantarillado condominial o simplificado

C.4 Alcantarillado libre de sólidos

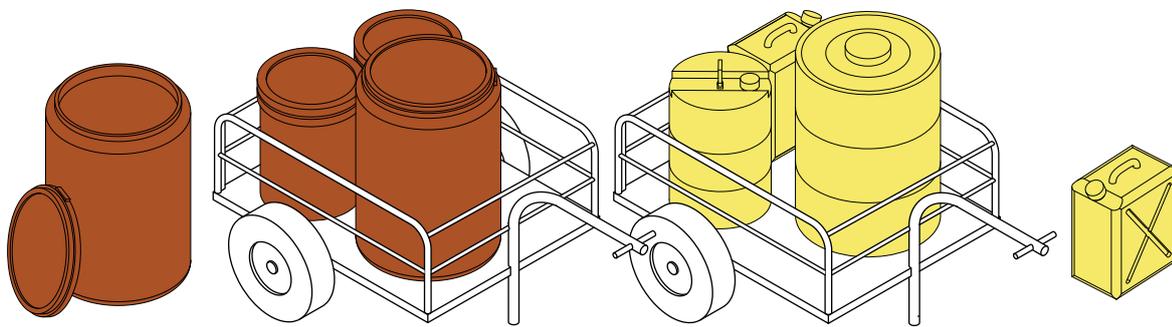
C.5 Alcantarillado convencional

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

- Tipo y cantidad de productos a ser transportados.
- 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:	Nivel de manejo:	Entradas/Salidas: Orina Heces
<input type="checkbox"/> ** Vivienda <input type="checkbox"/> *** Vecindario <input type="checkbox"/> Ciudad	<input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> * Compartido <input type="checkbox"/> ** Público	



En este compendio, el transporte manual se refiere a las diferentes formas en que las personas pueden recoger y transportar manualmente contenedores sellados con orina y/o heces, como parte del “Saneamiento Basado en Contenedores (CBS por sus siglas en inglés)”. En la mayoría de los casos, los contenedores sellados y extraíbles se recogen y transportan, primero desde la interfaz con el usuario hasta un depósito, donde se recogen y se trasladan al lugar de tratamiento mediante un vehículo motorizado (C.2). Sin embargo, si la proximidad lo permite, los contenedores pueden ser transportados manualmente directamente al lugar de tratamiento.

El sistema CBS se ha implementado en respuesta a desastres naturales y crisis de refugiados, demostrando su eficacia en estos entornos. El CBS es especialmente adecuado para zonas urbanas con una alta densidad poblacional, donde los altos costos y los retos técnicos asociados hacen que el saneamiento convencional por alcantarillado sea imposible y las condiciones locales, como la falta de espacio, el suministro de agua insuficiente o poco fiable, niveles freáticos altos o riesgos de inundación prohíben la instalación y el vaciado de las instalaciones de saneamiento

in situ. El transporte manual constituye un paso esencial en la cadena de servicios integral del CBS.

Además de la disponibilidad de equipamiento a nivel local, la selección de la tecnología de transporte depende de la accesibilidad a los lugares de los usuarios, de las distancias al depósito y de éste a la planta de tratamiento, así como de la forma de devolver los contenedores vaciados a los depósitos y a los clientes.

La mayoría de los proveedores de servicios de CBS recogen los contenedores en el domicilio del cliente o en la puerta de su casa. En las zonas de difícil acceso, se puede pedir a los clientes que lleven sus contenedores a un punto de entrega, donde recibirán a cambio contenedores vacíos higienizados. Se utilizan carretillas, carros de mano o de empuje especialmente adaptados para transportar los contenedores directamente a la planta de tratamiento o a un depósito, donde se almacenan los contenedores hasta que se alcanza la cantidad necesaria para cargar un camión para su posterior transporte motorizado a la planta. Una vez vaciados, lavados e higienizados, los contenedores vuelven al cliente por la misma ruta. La frecuencia de recolección depende de la capacidad de almacenamiento disponible por el cliente y de otros factores, como las condiciones climáticas, si éstas permiten un almacenamiento más

prolongado sin crear condiciones desagradables en el lugar de almacenamiento.

La mayoría de los inodoros utilizados en los CBS son desviadores de orina (U.4). Las heces suelen recogerse en un contenedor (S.1) y la orina se desvía a un segundo tanque de recolección o a pozos de absorción/infiltración *in situ* (R.5). También se utilizan carros manuales o carretilla de empuje para transportar los contenedores de orina en distancias cortas hasta el campo de aplicación directa (R.1). El transporte de los contenedores de orina requiere un cuidado especial y un sellado debido a su contenido líquido.

Consideraciones de diseño Los contenedores de orina pueden ser transportados directamente o vaciados en contenedores de transporte más grandes. Donde los sistemas de desviación de orina son comunes (es decir, los Sistemas 5 y 6), una microempresa puede especializarse en la recolección y transporte de bidones y contenedores pequeños, utilizando, por ejemplo, bicicletas, burros o carretillas. Las carretillas de mano deben diseñarse en función del peso a transportar y de la maniobrabilidad en caminos estrechos y sin pavimentar. Se debe prestar especial atención al tamaño y el ancho de los neumáticos para evitar que se atasquen en caminos no pavimentados. Las carretillas de un solo eje deben tener un soporte que les permita mantenerse en pie de forma segura, incluso cuando estén totalmente cargadas. Sin embargo, este soporte no debe afectar su maniobrabilidad. Las asas deben estar a una altura cómoda para el operador y se deben proteger con agarres de goma.

La provisión cuidadosa y bien pensada de depósitos o estaciones de transferencia puede garantizar una combinación adecuada de C.1 y C.2 en una solución de transporte eficiente y conveniente. La optimización de las rutas y distancias de transporte es crucial para la viabilidad de este servicio de transporte.

Adecuación Un bidón bien sellado es una forma efectiva de transportar manualmente la orina en distancias cortas. Este tipo de transporte sólo es apropiado para áreas donde los puntos de generación y uso (es decir, casas y campos) o descarga (depósito) están cerca. El uso de carretillas, carros de mano y bicicletas de carga facilita el transporte de contenedores para orina y/o heces. El transporte de tracción humana es adecuado para las zonas con caminos estrechos que no son accesibles para el transporte motorizado. El bajo costo de inversión y el fácil mantenimiento son las principales ventajas para el transporte en distancias cortas. En comparación con el transporte motorizado, son más lentos y físicamente más exigentes.

Aspectos sanitarios/Aceptación En comparación con el vaciado y el manejo de lodos fecales de letrinas de pozo, la recolección y el transporte de contenedores sellados en los sistemas CSB suponen un riesgo sustancialmente menor para la salud pública. No obstante, el carácter intensivo en mano de obra para la prestación de servicios de CBS puede suponer un riesgo potencial para la salud y la seguridad, especialmente durante las epidemias de enfermedades infecciosas. El uso de equipos de protección personal, como botas, guantes y mascarillas, junto con la ropa adecuada, es obligatorio para los operarios. Se recomienda que todos los empleados se sometan a controles sanitarios periódicos. La limpieza y desinfección adecuada de los contenedores son medidas importantes para reducir el riesgo para la salud de los usuarios de los sistemas CBS.

Funcionamiento y mantenimiento Los contenedores deben sellarse cuidadosamente antes de su manipulación. La carga y descarga de los carros de transporte debe hacerse con cuidado para evitar su apertura accidental. Los carros, incluyendo la presión de los neumáticos, deben ser revisados periódicamente. La limpieza de los carros después de cada uso es esencial y debe hacerse en un lugar adecuado para evitar la contaminación ambiental.

Pros y contras

- + Potencial de generación local de empleos e ingresos
- + Las carretillas, los carros de mano y los de empuje están disponibles en todas partes y se pueden reparar con materiales locales disponibles
- + Bajo costo de inversión; costos de operación variables dependiendo de la distancia del transporte
- + Proporciona servicios a zonas/comunidades sin alcantarillado ni acceso por carretera
- Puede haber derrames que podrían representar posibles riesgos para la salud y generar olores desagradables
- Requiere mucho tiempo y trabajo
- Dependiendo del contexto, la aceptación puede ser difícil de conseguir

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 242

Nivel de aplicación:

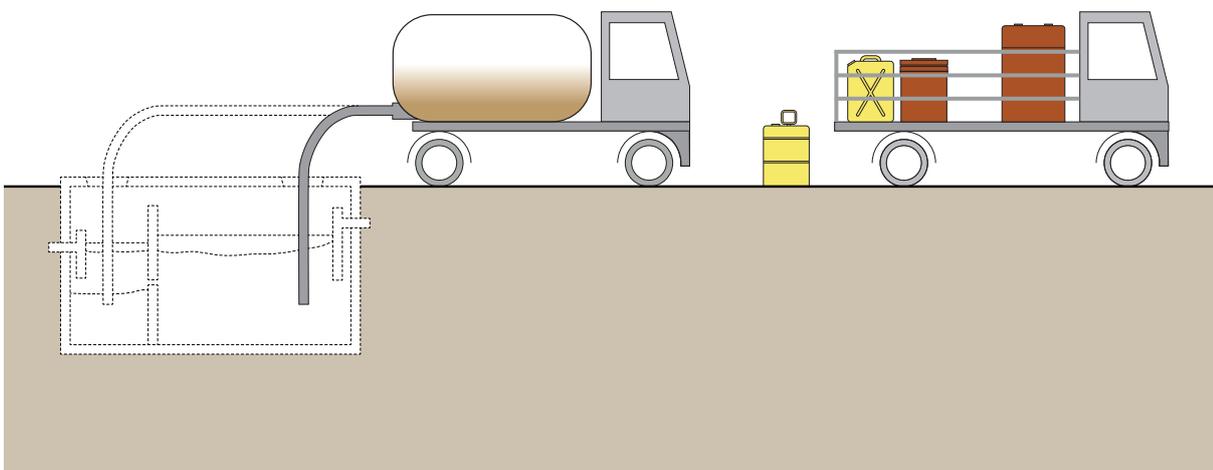
- ** Vivienda
- ** Vecindario
- * Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- * Compartido
- ** Público

Entradas/Salidas:

- Lodos
- Aguas negras
- Aguas grises
- Efluente
- Orina
- Orina almacenada
- Heces



El vaciado y transporte motorizado se refiere vehículos equipados con una motobomba y un tanque para vaciar y transportar lodos fecales y orina de las tecnologías de recolección y almacenamiento/tratamiento (S.1-S.6). También se refiere a los vehículos motorizados que transportan contenedores con heces u orina como parte del Saneamiento Basado en Contenedores (CBS por sus siglas en inglés). Se requieren personas para operar la bomba o para cargar y descargar el vehículo con contenedores.

Los camiones equipados con una bomba de vacío suelen denominarse camiones de succión. Para el vaciado, la bomba se conecta a una manguera que se baja al interior del tanque (por ejemplo, S.3) y los lodos se aspiran en el tanque contenedor del vehículo. La “Alianza para la Gestión de los Lodos Fecales” (FSMA por sus siglas en inglés) ofrece una visión general de las tecnologías de vaciado disponibles para pozos y tanques (véase referencias).

Consideraciones sobre el diseño Generalmente, la capacidad de almacenamiento de un camión de succión es de 3 a 12 m³. Hay una gran variedad de diseños, pero los más comunes son los vehículos con una bomba de

vacío y un tanque redondo cilíndrico, una forma que resiste mejor la fuerza del vacío. Los camiones locales también se adaptan para el transporte de lodos equipándolos con tanques contenedores y bombas. Las camionetas y los remolques modificados pueden transportar alrededor de 1,5 m³, pero las capacidades varían.

Por lo general, las bombas de vacío sólo pueden succionar hasta una profundidad de 2 a 3 m desde la parte superior del tanque (dependiendo de la potencia de la bomba y de la viscosidad de los lodos) y deben estar situadas a menos de 30 m del tanque que se va a vaciar. En el caso de los camiones con bombas de vacío más potentes, la distancia puede ser de hasta 50 m. En general, cuanto más cerca esté la bomba de vacío del tanque, más fácil será el vaciado. Para transportar los contenedores se utilizan camionetas o camiones convencionales. No se requieren modificaciones especiales, pero la zona de carga debe tener una baranda con altura suficiente para asegurar los contenedores y evitar que se caigan.

Idoneidad Para vaciar los tanques de recolección y almacenamiento, los camiones de succión son la tecnología más utilizada. Aunque los grandes camiones de succión no pueden acceder a zonas con caminos estrechos o no transi-

tables, siguen siendo la solución de saneamiento más común para los municipios y las autoridades de saneamiento, ya sea con vehículos de propiedad y operación pública o gestionados por servicios de vaciado privados. Estos camiones rara vez pueden realizar viajes de larga distancia desde un lugar de vaciado hasta una planta de tratamiento, ya que los ingresos generados no compensan en costo de combustible y tiempo. Por lo tanto, el lugar de tratamiento debe estar cerca de las áreas de servicio.

Los residuos sólidos y la arena dificultan el vaciado y pueden obstruir la tubería o la bomba. Dependiendo del tamaño del camión de succión, pueden ser necesarias varias cargas para los grandes tanques sépticos (S.3), por ejemplo, en edificios comerciales o públicos. El transporte motorizado de contenedores con orina y heces es más adecuado para zonas con caminos más anchos y transitables durante todo el año, y se utiliza en algunos sistemas CBS para el transporte desde los depósitos o puntos de colecta hasta las plantas de tratamiento en combinación con el transporte manual (C.1). Tanto la autoridad de saneamiento como los empresarios privados pueden operar camiones de succión, 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 los lodos en una instalación certificada. Los proveedores de servicios municipales y privados deben trabajar juntos para cubrir toda la cadena de gestión de lodos fecales.

Aspectos sanitarios/Aceptación El uso de un servicio de vaciado y transporte motorizado es fundamentalmente necesario cuando la tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento *in situ* no está conectada al sistema de alcantarillado y no hay opción de reúso o disposición *in situ*. La descarga de los camiones en las instalaciones de tratamiento adecuadas es obligatoria. Se producen graves riesgos para la salud y el medio ambiente si se practica la descarga incorrecta en zonas no aptas o en cuerpos de agua. Los operarios deben llevar equipos de protección personal, como botas, guantes y mascarillas, y se debe evitar el derrame de aguas residuales al desconectar las tuberías de aspiración. También debe evitarse la limpieza de camiones y equipos en la vía pública. De igual manera, esto se aplica al transporte de contenedores de heces, donde el personal debe usar equipo de protección personal y manipular los contenedores con cuidado para evitar abrirlos accidentalmente durante el transporte.

Existen normas ISO como directrices para la evaluación y mejora de los servicios de saneamiento, incluido el vaciado y el transporte motorizado (véase la parte 3, p. 174).

Operación y mantenimiento Los camiones de succión deben limpiarse después de su uso diario y deben limpiarse y desinfectarse a profundidad regularmente. La limpieza debe realizarse en lugares adecuados donde las aguas residuales de la limpieza no se descarguen en cuerpos de agua. Lo mismo se aplica a los vehículos que transportan contenedores fecales.

Además, como con cualquier motor o vehículo, el mantenimiento regular del camión incluida la bomba de vacío y el equipo técnico, es esencial. Se recomienda enérgicamente realizar controles de seguridad periódicos para evitar accidentes con vehículos cargados.

En los tanques de recolección y almacenamiento con largos intervalos de vaciado, los lodos pueden depositarse y espesarse en el fondo, dificultando la extracción de los sólidos. Por este motivo, se recomienda vaciar periódicamente los tanques sépticos o contenedores, aunque el nivel de lodos no esté al máximo.

Pros y contras

- + Generalmente, vaciado eficaz, rápido e higiénico del lodo
- + Posibilidad de un servicio eficiente de transporte de efluentes con camiones de succión
- + Pueden utilizarse camiones para el transporte eficiente de contenedores en los sistemas CBS
- + Potencial de generación local de empleos e ingresos
- + Proporciona un servicio esencial a las zonas sin alcantarillado
- La basura en los tanques puede bloquear las mangueras y las bombas
- Pueden surgir dificultades al vaciar tanques profundos debido a la limitada potencia de succión
- Muy alto costo de inversión; costos de operación variables dependiendo del uso y el mantenimiento
- Contratar un camión de succión puede ser inasequible para las familias de bajos ingresos
- No todos los repuestos y los materiales pueden estar disponibles localmente
- Puede tener dificultades de acceso a ciertos lugares

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 242

Nivel de aplicación:

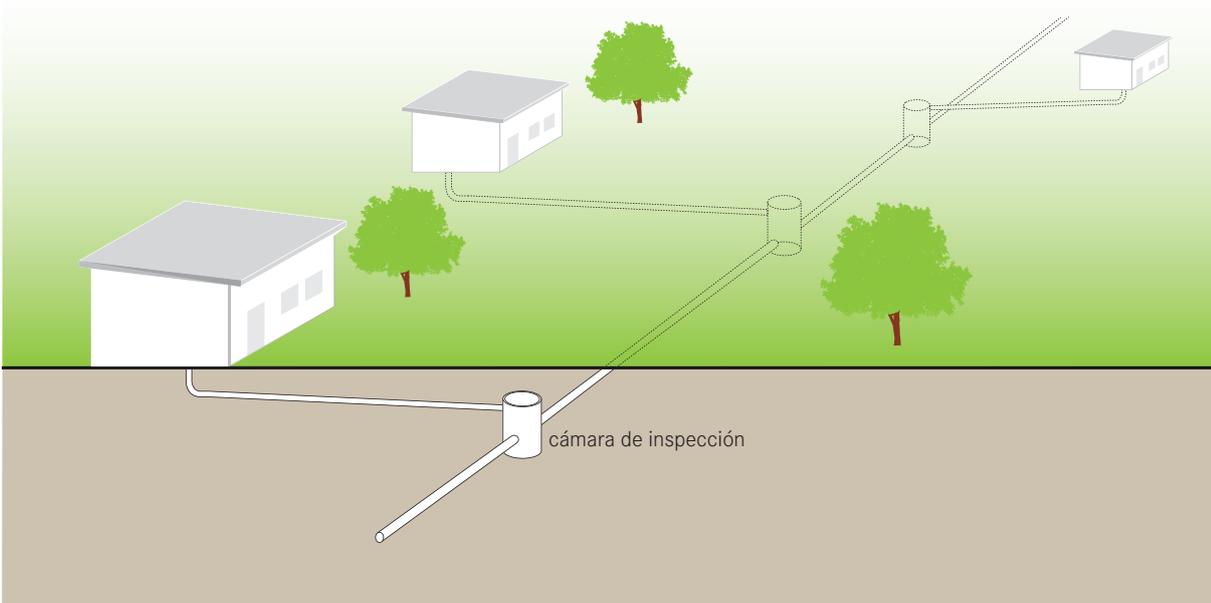
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas/Salidas:

- Aguas negras
- Aguas cafés
- Aguas grises
- Efluente



El alcantarillado simplificado o condominial se describe como una red de alcantarillado que se construye utilizando tuberías de menor diámetro colocadas a poca profundidad y en una pendiente más plana que los alcantarillados convencionales (C.5). 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. Las tuberías se colocan dentro de los límites de la propiedad, a través de los jardines frontales o patios, en lugar de hacerlo por debajo del camino principal, lo que permite que se utilicen menos tuberías y más cortas. Dado que el alcantarillado simplificado normalmente se instala en condominios, también pueden tener el nombre de alcantarillado condominial. Las tuberías también pueden pasar por 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, éste 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 tractiva mínima de 1 N/m^2 (1 Pa) en el caudal máximo. El caudal mínimo debe ser de $1,5 \text{ l/s}$ y el diámetro mínimo del alcantarillado debe medir 100 mm . Una pendiente de $0,5 \%$ suele ser suficiente. Por ejemplo, un alcantarillado de 100 mm colocado con una pendiente 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 tubería de PVC. La profundidad a la que deben colocarse depende principalmente del volumen de tráfico. Por debajo de las aceras normalmente se utilizan coberturas de 40 a 65 cm . El diseño simplificado también puede aplicarse a las tuberías de alcantarillado; las que pueden colocarse a poca profundidad, siempre y cuando esté lejos del tráfico.

Por lo general, no es necesario contar con cámaras de inspección costosas. En cada unión o cambio de dirección bastará con colocar cámaras de inspección sencillas (o puntos de limpieza). 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) 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 asentamientos 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).

Cuando el terreno sea rocoso o el nivel freático esté alto, 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 respecto a los riesgos para la salud asociados con la eliminación de obstrucciones y el mantenimiento de las cámaras de inspección.

Operación y mantenimiento Contar con usuarios responsables y capacitados es esencial para garantizar que el flujo no se interrumpa y para prevenir obstrucciones

de basura y otros sólidos. Se recomienda lavar a menudo las tuberías para prevenir 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 de saneamiento 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 con una pendiente 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 generan un riesgo de exfiltración de aguas residuales y de infiltración de aguas subterráneas, y son difíciles de identificar

Referencias y lecturas adicionales

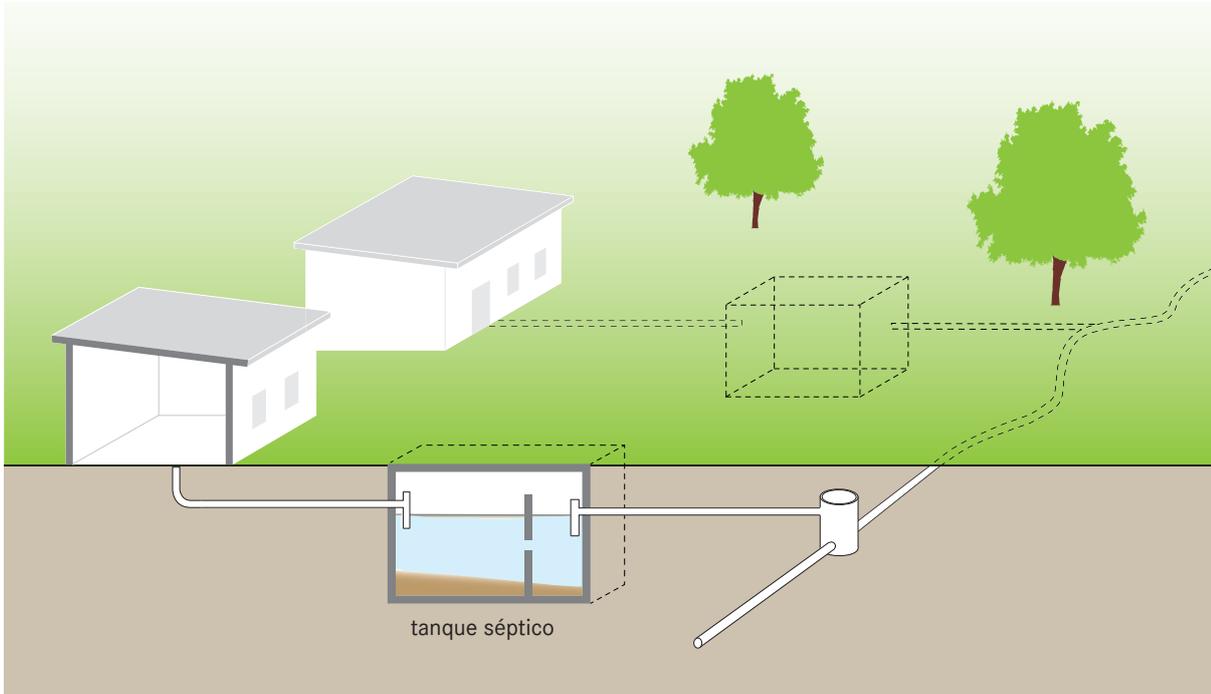
se encuentran en la página 242

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 un tanque séptico). 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 tanque séptico. Una condición previa para las redes de alcantarillado libre de sólidos es un pretratamiento eficiente en viviendas. Un interceptor, por lo general el tanque séptico de una cámara (S.3), captura las partículas sedimentables 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, es decir, no necesita velocidad de flujo ni tensión tractiva mínima. Requiere pocos puntos de inspección y puede tener gradientes inflexibles (es decir, pendientes negativas) y seguir la topografía. Cuando el alcantarillado sigue aproximadamente los contornos del terreno, se permite que el flujo varíe entre el canal abierto y el flujo a 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 aguas abajo de la alcantarilla sea más bajo al extremo de aguas arriba. En los tramos 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 de vuelta al tanque. En puntos altos de secciones con flujo a presión, las tuberías deben estar ventiladas. El alcantarillado libre de sólidos no debe instalarse en una pendiente uniforme con una alineación recta entre los puntos de inspección. La alineación puede curvarse para evitar obstáculos, permitiendo mayor tolerancia en la construcción. Se necesita un diámetro mínimo de 4" para facilitar la limpieza.

No es necesario contar con cámaras de inspección costosas porque no se requiere acceso para maquinaria de limpieza. Los puntos de limpieza o descarga son suficientes y se instalan en los extremos aguas arriba, en los puntos altos, en las intersecciones, o en los principales cambios de dirección o tamaño. En comparación con las cámaras, 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 las tuberías 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 tuberías 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 adecuado para entornos de baja densidad o rurales. Funciona bien donde no haya espacio para un lecho de infiltración (R.6), 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 los tanques sépticos existentes, cuando 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.3), 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 menor uso de materiales, puede construirse a un costo considerablemente menor que un alcantarillado convencional (C.5).

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 relación a los riesgos para la salud asociados con la eliminación de bloqueos y el mantenimiento de tanques interceptores.

Operación y mantenimiento Es esencial contar con usuarios responsables y capacitados para evitar las obstrucciones por basura y otros sólidos. Se recomienda retirar frecuentemente los lodos de los tanques sépticos 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 debe 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 un 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

se encuentran en la página 243

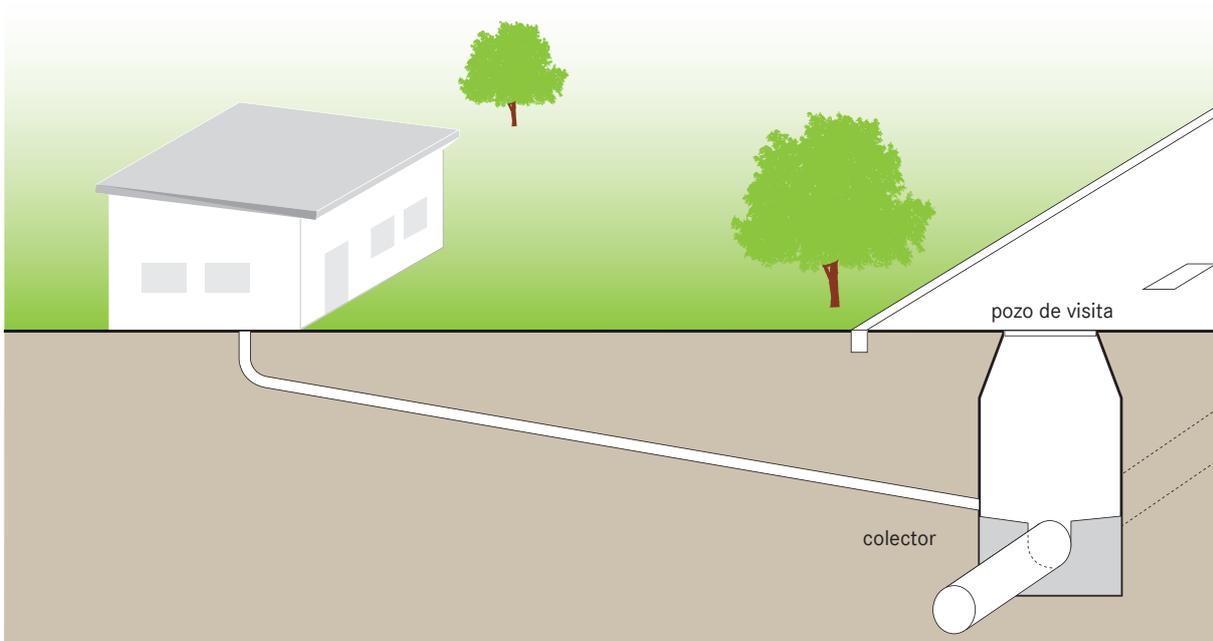
Nivel de aplicación:

- 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 pendiente de descenso constante a lo largo del alcantarillado para mantener los flujos de autolimpieza, los cuales pueden requerir excavaciones profundas. Cuando no se puede mantener la pendiente descendente, se deberá instalar una estación de bombeo. Las alcantarillas primarias se instalan debajo de las calles, a profundidades de 1,5 a 3 m, 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, PVC y hierro dúctil o fundido.

Las cámaras de inspección se colocan a distancias fijas por encima del alcantarillado, en las intersecciones de las tuberías y en los cambios de dirección de las mismas (vertical y horizontalmente). Las cámaras deben diseñarse de forma que no se conviertan en una fuente de entrada de aguas pluviales o de infiltración de aguas subterráneas. Si los usuarios conectados descargan aguas residuales altamente contaminadas (por ejemplo, industrias o restaurantes), se puede requerir un pretratamiento o tratamiento primario *in situ* antes de la descarga al sistema

de alcantarillado, para reducir el riesgo de obstrucción y la carga en la planta de tratamiento de aguas residuales. Cuando el alcantarillado también lleva aguas pluviales (conocido como alcantarillado combinado), se requiere un bypass 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 para aguas residuales menos 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 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.

Los desplazamientos del terreno pueden causar grietas en las paredes de las cámaras o en las juntas de las tuberías, convirtiéndose en una fuente de infiltración de aguas subterráneas o de ex filtración de aguas residuales, y comprometer el funcionamiento del alcantarillado.

Los alcantarillados convencionales por gravedad se pueden construir en climas fríos ya que se excavan a gran profundidad en el suelo; además, el flujo constante y voluminoso de agua 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 cámaras para las inspecciones de rutina y la limpieza del alcantarillado. Los desechos (por ejemplo, arenilla, palos y trapos) pueden acumularse en las cámaras 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.

Los métodos de limpieza más comunes para los alcantarillados convencionales por gravedad son el barrido, el lavado con 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

- + Menor mantenimiento en comparación con el alcantarillado simplificado y el alcantarillado 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 sedimentación 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 de construcción calificada
- Las fugas plantean un riesgo de ex filtración de aguas residuales y de infiltración a las aguas subterráneas, y son difíciles de identificar

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 243

Esta sección describe las tecnologías de tratamiento generalmente apropiadas para grupos grandes de usuarios, es decir, desde aplicaciones (semi)centralizadas a nivel de vecindario hasta aplicaciones centralizadas a nivel de ciudad. Están diseñadas para adaptarse a volúmenes de flujos crecientes y proporcionar, en la mayoría de los casos, una mejor eliminación de nutrientes, sustancias orgánicas y patógenos, sobre todo en comparación con las tecnologías de tratamiento a nivel de viviendas (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 a nivel S.

Las tecnologías se dividen en tres grupos. Las T.1-T.13 son principalmente para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes, mientras que las T.14-T.19 son principalmente para el tratamiento de lodos. Las tecnologías de pretratamiento y postratamiento se describen en las fichas tecnológicas PRE y POST, aunque no siempre son necesarias.

En consulta con el grupo de especialistas de la IWA “Sistemas de humedales para el control de la contaminación del agua”, las tecnologías que se denominaban “Humedales construidos” en los compendios anteriores, se denominan “humedales” (T.7-T.10). Por el mismo motivo, se ha suprimido el término “subsuperficial”.

PRE Tecnologías de pretratamiento.

T.1 Sedimentador

T.2 Tanque Imhoff

T.3 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)

T.4 Filtro anaerobio

T.5 Lagunas de estabilización (WSP)

T.6 Laguna aireada

T.7 Humedal de flujo superficial (HFS)

T.8 Humedal de flujo horizontal (HFH)

T.9 Humedal de flujo vertical (HFV)

T.10 Humedal flotante (HF)

T.11 Filtro percolador

T.12 Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (RAFA)

T.13 Lodos activados

T.1-T.13

Tecnologías para el tratamiento de aguas negras, aguas cafés, aguas grises o efluentes

T.14 Laguna de sedimentación/espesamiento

T.15 Lecho de secado sin plantas

T.16 Lecho de secado con plantas

T.17 Co-compostaje

T.18 Reactor de biogás

T.19 Carbonización

T.14-T.19

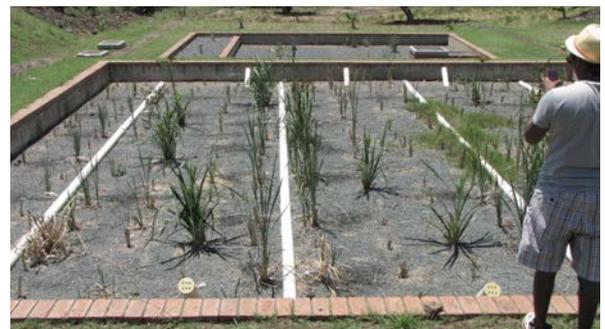
Tecnologías para el tratamiento de lodos

POST Filtración terciaria y desinfección

Al diseñar un esquema de tratamiento (semi)centralizado, el ingeniero debe crear una combinación significativa de estas tecnologías para lograr el objetivo de tratamiento global deseado, por ejemplo, una configuración de múltiples etapas con el pretratamiento, el tratamiento primario y el 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 de calidad exigidos)
- Recursos financieros
- Disponibilidad local de materiales
- Disponibilidad de espacio
- Características del suelo y de las aguas subterráneas
- Disponibilidad de una fuente constante de electricidad
- Habilidades y capacidades (para diseño y operación)
- Consideraciones de manejo



Nivel de aplicación:

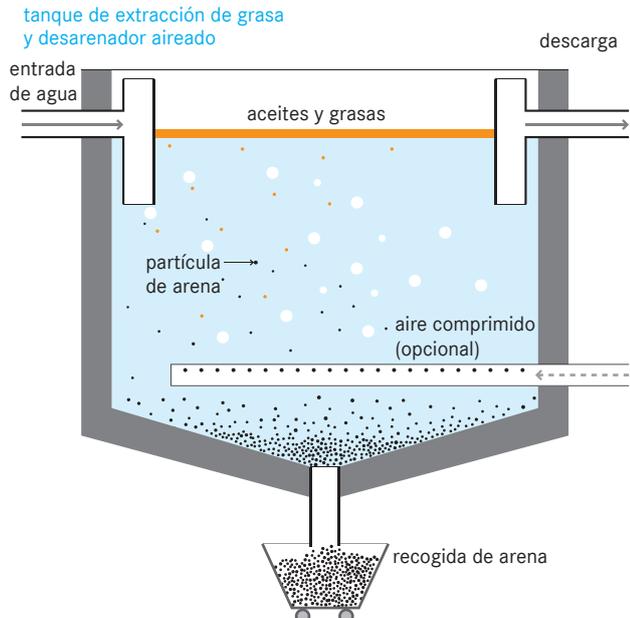
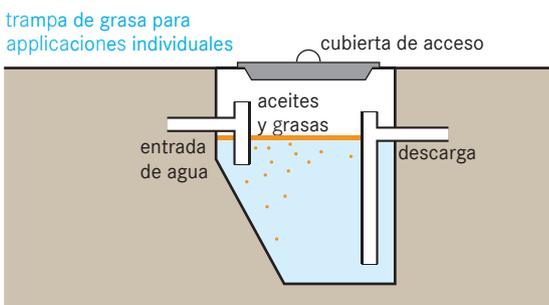
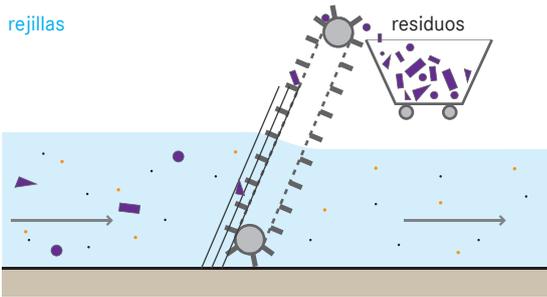
- [*] Vivienda
- [**] Vecindario
- [**] Ciudad

Nivel de manejo:

- [*] Vivienda
- [*] Compartido
- [**] Público

Entradas: ■ Aguas negras ■ Aguas café
■ Aguas grises ■ Lodos

Salidas: ■ Aguas negras ■ Aguas café
■ Aguas grises ■ Lodos ■ 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 perjudicar el transporte y/o la eficacia del tratamiento mediante la obstrucción y el 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, sedimentación y filtración.

Las medidas de control de la fuente, tanto técnicas como de comportamiento, en los hogares o en los edificios, pueden reducir la carga de contaminación y mantener bajos los requisitos de 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. Los buzones del alcantarillado deben estar siempre cerrados con tapas con registro, 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 evitar 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 se puede instalar un interceptor de grasa fuera de la vivienda para grandes cantidades de aceite y grasa. 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 mediante sedimentación, similar a lo que sucede en los tanques sépticos (S.3).

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 cribas inclinadas o en las barras de las rejillas. El espacio entre las barras 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 En los casos en que las tecnologías de tratamiento posteriores podrían verse obstaculizadas o dañadas por la presencia de arena, los desarenadores (o trampas de arena) permiten eliminar las fracciones inorgánicas pesadas por decantación. Hay tres tipos generales de desarenadores: flujo horizontal, aireados y 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 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 donde 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 La eliminación de sólidos y grasa en las tecnologías de pretratamiento no es agradable y, si los hogares o los miembros de la comunidad son los responsables de hacerlo, puede que no se haga con regularidad. Contratar a profesionales para que realicen el retiro del material puede ser la mejor opción, aunque es costoso. Las personas que participan en la limpieza pueden entrar en contacto con agentes patógenos o sustancias tóxicas; por lo tanto, es esencial protegerse adecuadamente con ropa de seguridad, es decir, botas y guantes.

Operación y mantenimiento Todas las instalaciones de pretratamiento deben ser monitoreadas y limpiadas regularmente para garantizar su adecuado funcionamiento. Si la frecuencia de mantenimiento es demasiado baja, se pueden generar olores fuertes debido a la degradación del material acumulado. Un mantenimiento inadecuado de las unidades de pretratamiento puede conducir a una eventual falla en los elementos posteriores de un 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 reúso.

Pros y contras

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

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 244

Nivel de aplicación:

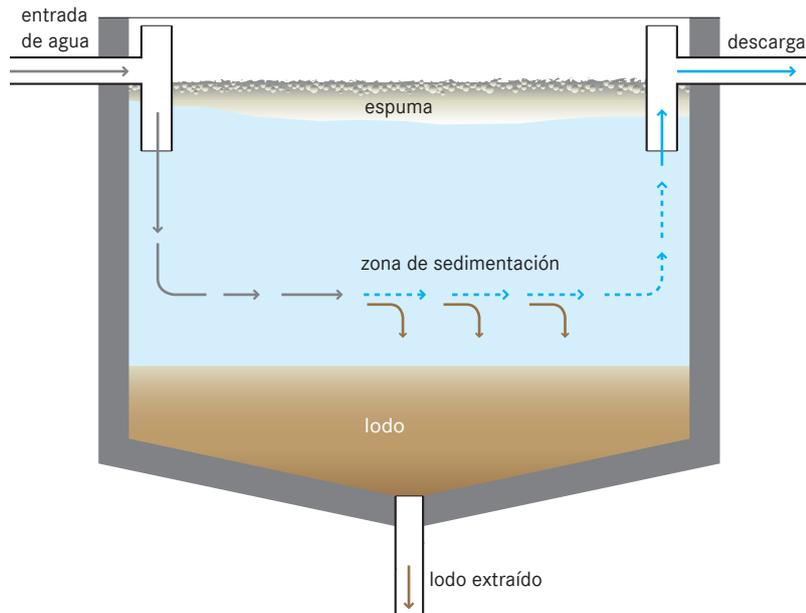
- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas: Aguas negras Aguas cafés
 Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



El sedimentador es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales. Está diseñado para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. También se le llama decantador, clarificador o tanque de sedimentación. La baja velocidad del flujo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan en el fondo, 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), para clarificación secundaria en el tratamiento de lodos activados (véase T.13), y después de la coagulación/precipitación química o del espesamiento de lodos. 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 posterior.

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 compartimiento para sedimentación primaria:

- El tanque séptico (S.3), donde la baja frecuencia de remoción de lodo conduce a la degradación anaerobia del mismo.
- El reactor anaerobio con deflectores (S.4/T.3) y el filtro anaerobio de flujo ascendente (S.5/T.4), que generalmente incluyen un sedimentador como primer compartimiento. 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 (T.18), 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.12), diseñados para la digestión del lodo sedimentado y para evitar que los gases o las partículas de lodo entren o retornen de la sección inferior a la sección superior.
- Las lagunas de estabilización (WSP, T.5), de las cuales la primera laguna anaerobia es para sedimentación.

- Las lagunas de sedimentación/espesamiento (T.14) que están diseñadas para la separación sólido-líquido en el lodo fecal.
- El alcantarillado libre de sólidos (C.4), 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 debe ser demasiado bajo para la siguiente etapa biológica. El tanque debe diseñarse para garantizar un desempeño satisfactorio en los momentos de máximo caudal. Con el fin de evitar las corrientes inducidas y los cortocircuitos, así como para mantener la espuma dentro del estanque, es importante una buena construcción de entrada y salida con un sistema eficiente de distribución y recogida (deflectores, vertederos o tubos en forma de T). Dependiendo del diseño, el retiro del lodo puede realizarse con una bomba manual, bomba de aire, bomba de vacío o por gravedad, utilizando una salida inferior. Los grandes sedimentadores primarios generalmente están equipados con colectores mecánicos que raspan continuamente los sólidos asentados hacia una tolva de lodos 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 de la tasa de extracción de lodos. Puede reducirse por la circulación inducida por el viento, por convección térmica y por corrientes de densidad debidas a las diferencias de temperatura y, en los climas cálidos, debido a la estratificación térmica. Estos fenómenos pueden provocar cortocircuitos. Existen varias posibilidades para mejorar el rendimiento de los sedimentadores, como la instalación de placas inclinadas (laminillas) y tubos, que aumentan la superficie de sedimentación, o con el uso de coagulantes químicos o naturales.

Idoneidad La elección de una tecnología para sedimentar 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 sedimentación 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 de sedimentación primaria 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 evitar la emisión 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 sedimentados. Es difícil remover el lodo transportado a la superficie por las burbujas de gas y puede pasar a la siguiente etapa de tratamiento.

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

Pros y contras

- + Tecnología sencilla y robusta
- + 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

se encuentran en la página 244

Nivel de aplicación:

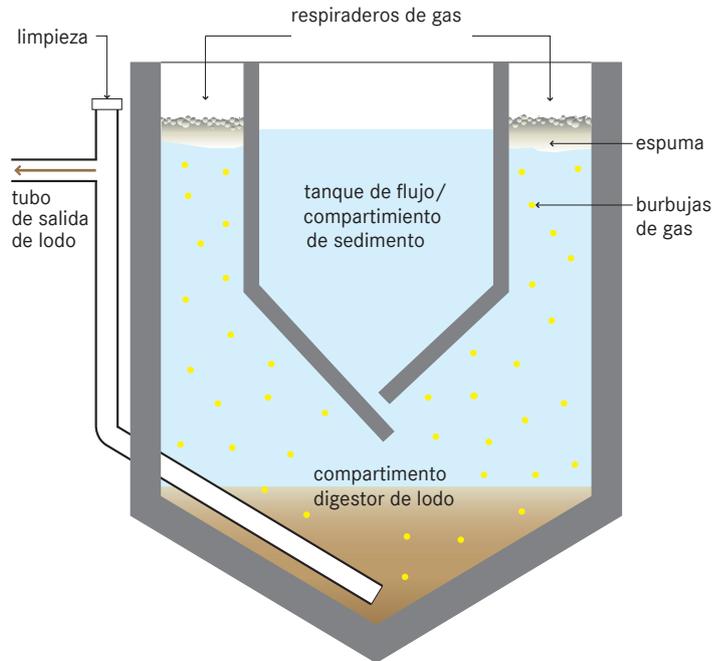
- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas: Aguas negras Aguas cafés
 Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



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 sedimentado. Consta de un compartimento de sedimentación en forma de "V" colocado sobre una cámara de digestión de lodos estrecha y con respiraderos para gas.

El tanque Imhoff es un sedimentador robusto y eficaz que reduce los sólidos suspendidos entre un 50 a 70 %, y la demanda química de oxígeno (DQO) de 25 a 50 %, y logra 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 deslicen hacia 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 ubicados en los lados del reactor y transporta las partículas de lodo hacia 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 el 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 salga del 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 sedimentación 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 de estabilización de lodo deseado (vinculado a la frecuencia de desenlodado) y de la temperatura. En general, la

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

Idoneidad El tanque Imhoff se recomienda para caudales de aguas residuales domésticas o mixtas, de poblaciones equivalentes entre 50 a 20 000 habitantes. Son capaces de tratar altas cargas orgánicas y son resistentes a las cargas orgánicas de choque. 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 el nivel freático es bajo y el área 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, humedales o filtros percoladores). Sin embargo, los gases producidos en bajas cantidades pueden generar olores localmente. La eliminación de patógenos es baja y todos los efluentes deben ser tratados. Es necesario utilizar ropa de protección adecuada para los trabajadores que puedan entrar en contacto con los efluentes, espumas o el lodo.

Operación y mantenimiento La operación y el mantenimiento son de bajo costo si el personal a cargo está capacitado. Las vías de flujo deben mantenerse abiertas y limpiarse cada semana, mientras que la espuma del compartimento de sedimentación y los respiraderos de gas deben limpiarse diariamente, si fuera necesario. El lodo estabilizado en el fondo del compartimento de digestión debe eliminarse según el diseño. Siempre debe haber un espacio mínimo de 50 cm entre la capa 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 orgánicas de choque
- + Requiere un terreno pequeño
- + El efluente no es séptico (con poco olor)
- + Bajos costos de operación
- Infraestructura muy alta (o profunda); la profundidad puede ser un problema si el nivel freático es alto
- Requiere experiencia en diseño y construcción
- Baja reducción de patógenos
- El efluente, el lodo y la espuma requieren tratamiento adicional

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 244

Reactor anaerobio con deflectores (ABR en inglés)

Aplica a:
Sistemas 1-5

Nivel de aplicación:

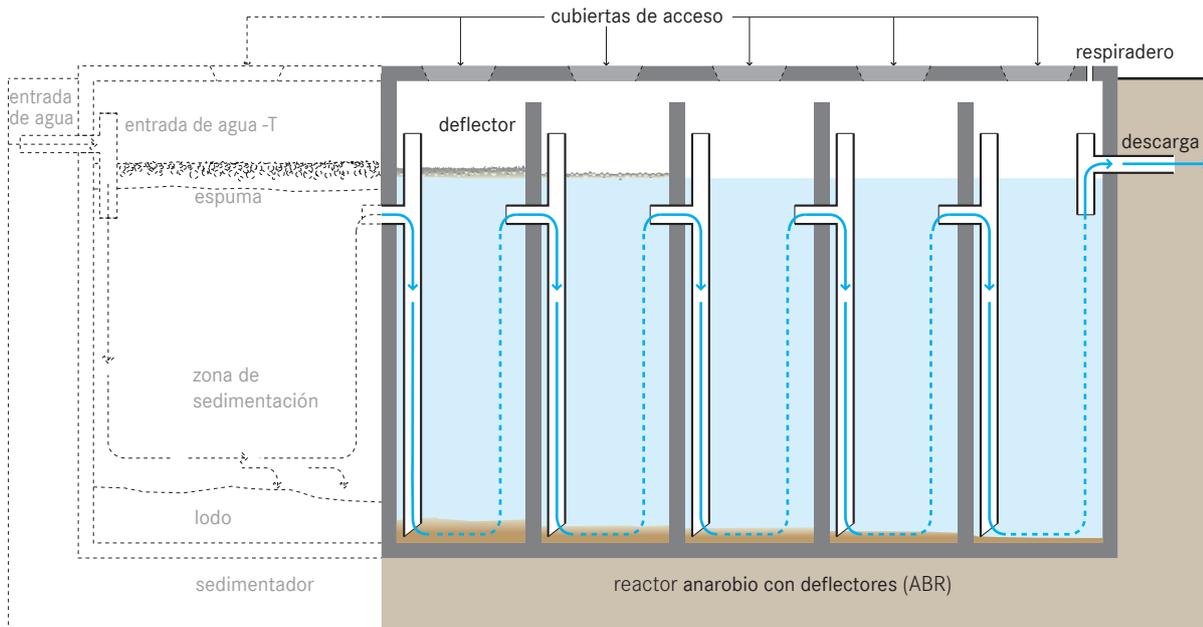
- * Vivienda
- ** Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- * Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Efluente Aguas negras
 Aguas cafés Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



Un reactor anaerobio con deflectores (ABR) constituye una mejora al tanque séptico (S.3), ya que tiene una serie de deflectores por los que se obliga a fluir las aguas residuales. El incremento del tiempo de contacto con la biomasa activa (lodo) da como resultado un mejor tratamiento.

Las cámaras de flujo ascendente proporcionan mayor digestión y tratamiento de la materia orgánica. La DBO puede reducirse hasta un 90 %, que es muy superior a la eliminación en un tanque séptico convencional.

Consideraciones de diseño La mayor parte de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación al inicio del ABR. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes tienen un compartimiento integrado para la sedimentación (como se muestra en S.4), pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado u otra tecnología anterior (por ejemplo, tanques sépticos existentes). Los diseños sin un compartimiento de sedimentación son de particular interés para las plantas con sistema de tratamiento (semi)centralizado, que combinan el ABR con otra tecnología para el sedimentación principal,

o donde se usan unidades prefabricadas y modulares.

Los flujos típicos son de 2 a 200 m³ 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 tapas de acceso) es necesaria para el mantenimiento. En general, el biogás producido en un ABR mediante digestión anaerobia no es recolectado debido a su insuficiente cantidad. 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 áreas de mayor tamaño. 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 el alcantarillado simplificado (C.3).

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 de succión pueda extraer el lodo de manera regular (sobre todo desde el sedimentador). Los ABR pueden instalarse en todo tipo de clima, aunque su eficiencia 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 con un tratamiento posterior. 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 debe establecerse primero en el reactor. Para reducir el tiempo inicial, se puede inocular el ABR con bacterias anaerobias (por ejemplo, mediante la adición de estiércol fresco de vaca o lodo de un tanque séptico). Las bacterias activas agregadas pueden multiplicarse y adaptarse a las aguas residuales entrantes. Debido a su ecología delicada, 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.2). La frecuencia del retiro de lodos 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 impermeables.

Pros y contras

- + Resistente a cargas orgánicas e hidráulicas de choque
- + 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

se encuentran en la página 245

Nivel de aplicación:

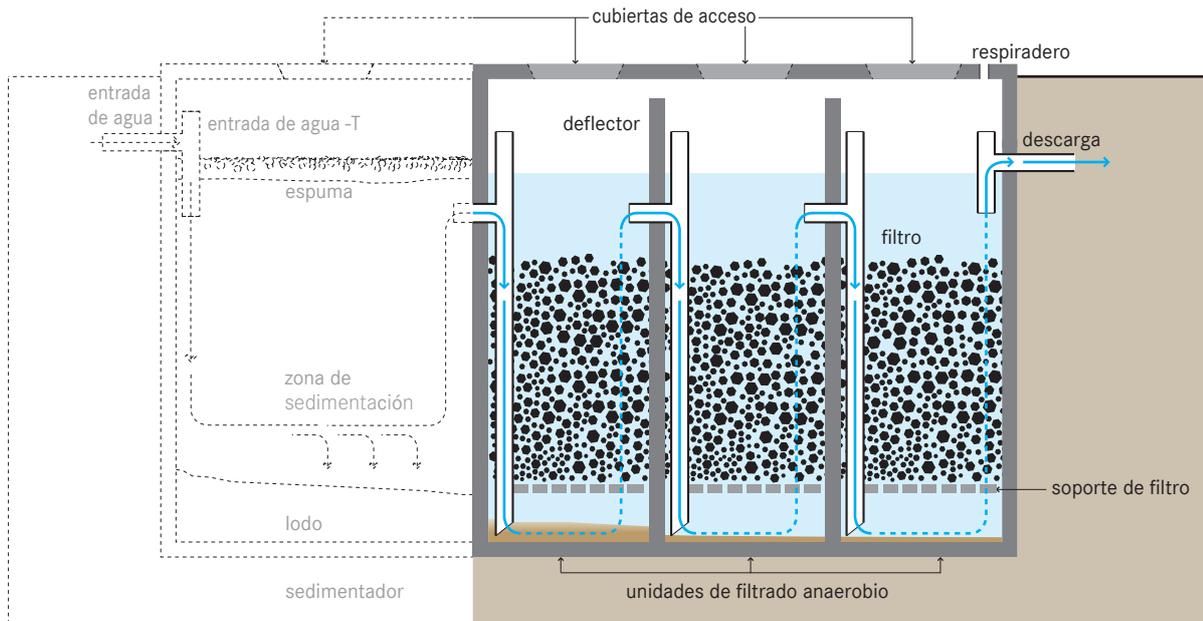
- * Vivienda
- ** Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- * Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Efluente Aguas negras
 Aguas cafés Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



El 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 delante del filtro anaerobio. Generalmente, las unidades independientes de pequeña escala poseen un compartimiento integrado para la sedimentación (como se muestra en S.5), pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador (T.1) separado o en otra tecnología previa (por ejemplo, un tanque séptico existente). Los diseños sin un compartimiento de

sedimentación 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 con flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. 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 adherida que la degrada. Idealmente, el material debe proporcionar entre 90 y 300 m² 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 usados incluyen gravas, rocas o ladrillos machacados, escorias, piedra pómez, o piezas de plástico especiales, dependiendo de la disponibilidad local. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores. Es necesaria la accesibilidad a

todas las cámaras (a través de tapas de acceso) 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, en áreas de mayor tamaño. 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 la carga orgánica para el tratamiento aerobio posterior, o para el 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 de succión es importante, ya que la tecnología requiere retiro de lodo.

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 con un tratamiento posterior. 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

debe establecerse primero en el filtro. Para reducir el tiempo inicial, el filtro puede ser inoculado con bacterias anaerobias (por ejemplo, mediante la aspersión de lodos de un tanque séptico en el material del filtro). El flujo aumentará con el tiempo. Debido a su ecología delicada, 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 película 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 impermeables.

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
- La remoción y limpieza del material del filtro obstruido es engorrosa

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 245

Nivel de aplicación:

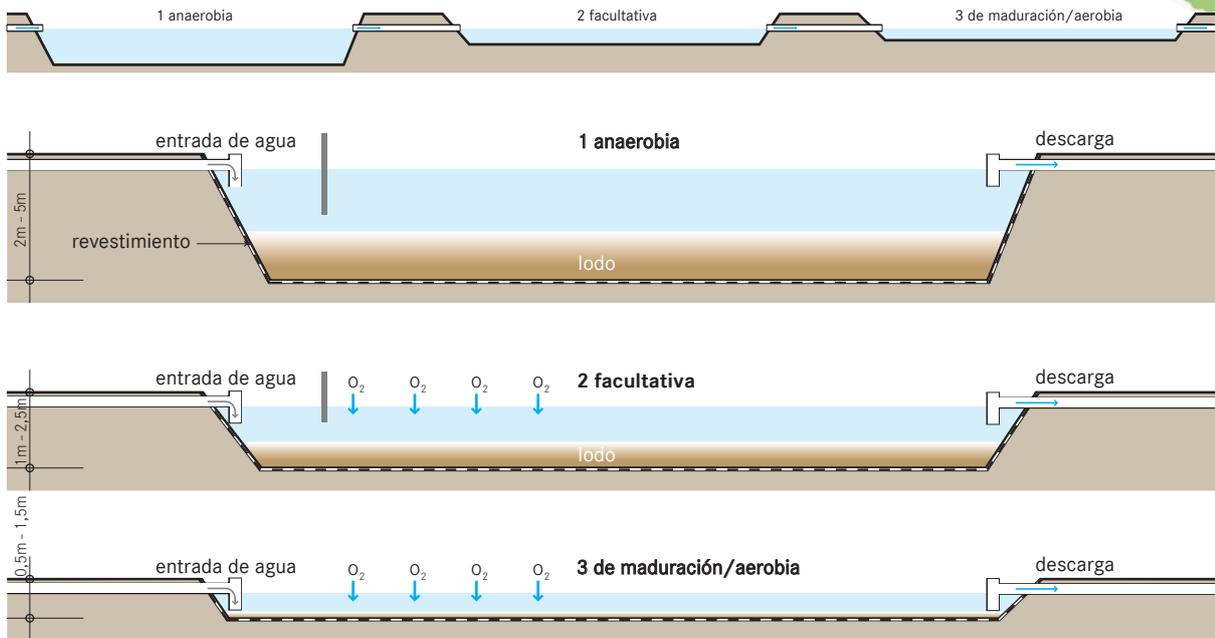
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas: Aguas negras Aguas grises Aguas café Lodos

Salidas: Efluente Lodos



Las lagunas de estabilización (WSP) son grandes cuerpos de agua construidos por el hombre. Las lagunas pueden utilizarse individualmente o conectarse 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 conectarse en una serie de tres a más, con el efluente que sale de la laguna anaerobia hacia la laguna facultativa y, por último, hacia 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 son bastante profundas y funcionan de forma anaerobia desde la superficie hasta el fondo. La remoción de sólidos y DBO se produce por sedimentación y mediante la posterior digestión anaerobia dentro de los lodos. Las bacterias anaerobias convierten el carbono orgánico en metano y, a través de este proceso, remueven hasta un 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 por difusión natural, la mezcla por el viento y de fotosíntesis

impulsada por las algas. La capa inferior 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 hasta 75% de la DBO. Las lagunas anaerobias y facultativas están diseñadas para la remoción de DBO, mientras que las lagunas aerobias están diseñadas para remover patógenos. Una laguna aerobia se conoce comúnmente como laguna de maduración o laguna de pulimento, 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 ocurra la fotosíntesis. Las algas fotosintéticas liberan oxígeno en el agua y, al mismo tiempo, consumen en dióxido de carbono producido por la respiración bacteriana. Dado que la fotosíntesis es impulsada por la luz del sol, los niveles de oxígeno disueltos son mayores durante el día y bajan durante la noche. El oxígeno disuelto también se produce por la mezcla natural del viento.

Consideraciones de diseño Una laguna anaerobia se construye con una profundidad de 2 a 5 m y tiene un tiempo 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 aerbias suelen tener entre 0,5 y 1,5 m de profundidad. Si se utilizan en combinación con la recolección de algas o peces (véase R.7), este tipo de laguna es eficaz para remover la mayoría de nitrógeno y fósforo del efluente. Idealmente, se pueden construir varias lagunas aerobias en serie para proveer un alto nivel de eliminación de patógenos.

El pretratamiento (véase PRE) 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 hacia las aguas subterráneas, 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 un dique 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 disponibles, y a una distancia razonable de las viviendas y de los espacios públicos. No son apropiadas para áreas densamente pobladas o urbanas.

Aspectos de salud/aceptación Aunque el efluente de las varias 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 para la reproducción de mosquitos y evitan que la luz penetre en la columna de agua.

El lodo de la laguna anaerobia se debe remover una vez cada 2 a 5 años, cuando los sólidos acumulados alcancen 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 choque orgánicas e hidráulicas
- + 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

se encuentran en la página 245

Nivel de aplicación:

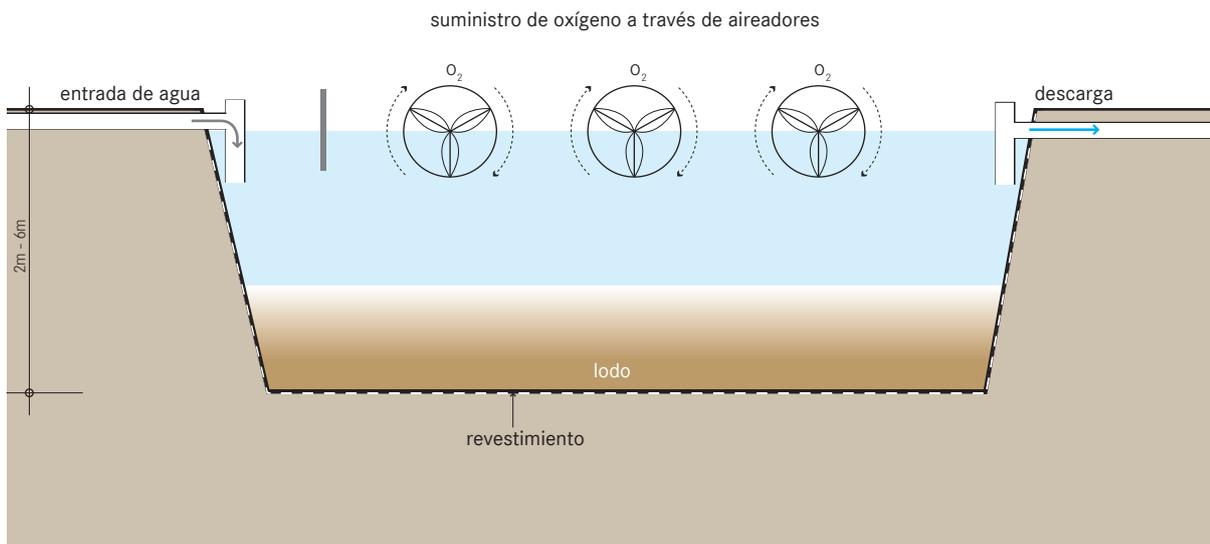
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas: Efluente Aguas negras
 Aguas cafés Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



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

Una mayor aireación y mezcla de las unidades mecánicas permite que las lagunas puedan ser más profundas y toleren cargas orgánicas mucho mayores que las lagunas de maduración. La mayor aireación permite mayor degradación y eliminación de patógenos. Además, dado que el oxígeno es introducido por unidades mecánicas y no por fotosíntesis basada en la luz, las lagunas pueden funcionar en climas más septentrionales.

Consideraciones de diseño El afluente debe pasar por 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 tanque posterior de sedimentación para separar los sólidos del efluente. La laguna debe construirse con una profundidad de 2 a 5 m, y debe tener un tiempo de retención de 3 a 20 días, dependiendo del objetivo del tratamiento.

Para evitar la lixiviación, la laguna debe estar revestida. 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 un dique 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 prolongada pueda causar que la laguna se convierta en anaerobia.

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

Aspectos de salud/aceptación La laguna es una gran extensión de aguas residuales con patógenos; debe tenerse cuidado de 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. El lodo de la laguna debe ser removido cada 2 a 5 años. Debe tenerse cuidado de 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 choque orgánicas e hidráulicas
- + 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 y/o descarga apropiada

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 246

Nivel de aplicación:

(**) Vecindario

(**) Ciudad

Nivel de manejo:

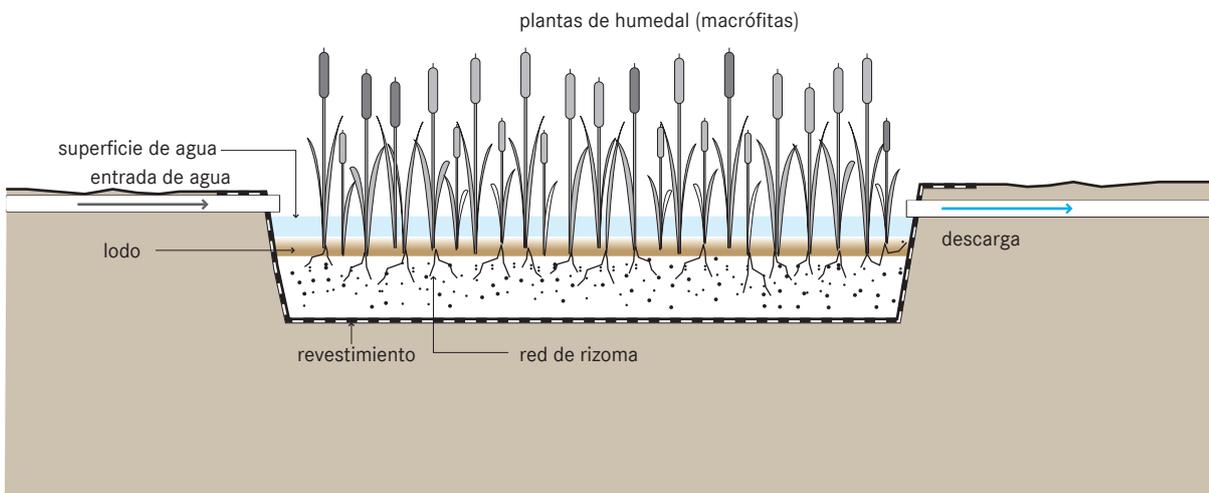
(**) Compartido

(**) Público

Entradas:
 Efluente
 Aguas pluviales

Salidas:
 Efluente
 Biomasa

SbN



El humedal de flujo superficial (HFS) pretende reproducir los procesos naturales que ocurren en un humedal, pantano o ciénaga natural. A medida que 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 se usa comúnmente como tratamiento avanzado después de procesos de tratamientos secundarios o terciarios.

A diferencia del humedal de flujo horizontal (T.8), el humedal 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 el estanque, 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 sustentan (en los tallos y las raíces), toman nutrientes como nitrógeno y fósforo. Las reacciones

químicas pueden causar que otros elementos se precipiten fuera de las aguas residuales. Los patógenos se eliminan mediante descomposición natural, depredación de organismos superiores, sedimentación e irradiación de luz UV. Aunque la capa de suelo 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 estanque está revestido con material impermeable (arcilla o geotextil), cubierto con rocas, grava y tierra, y plantado con vegetación autóctona (por ejemplo, totora, cañas o juncos). El humedal se inunda con aguas residuales en una profundidad de 10 a 45 cm por encima del nivel del suelo. El humedal está compartimentado al menos en dos líneas de flujo independientes. El número de compartimentos en serie depende del objetivo del tratamiento. La eficiencia del humedal de flujo superficial también depende de cómo se distribuye el agua en la entrada. Las aguas residuales pueden introducirse en el humedal, mediante vertederos o perforando agujeros en una tubería de distribución para que ingresen de manera uniforme.

Idoneidad El humedal 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 por su sombra y su amortiguación del viento; por lo tanto, este tipo de humedal sólo es apropiado para aguas residuales de baja carga. Esto también hace que sólo sea apropiado cuando se instala luego de algún tipo de tratamiento primario para reducir la DBO. Debido a la posible exposición de las personas a los agentes patógenos, esta tecnología rara vez se utiliza como tratamiento secundario. Por lo general se usa como tratamiento final del efluente que ya ha pasado por un tratamiento secundario, o para la retención y el tratamiento de aguas pluviales.

El humedal de flujo superficial es una buena opción cuando el terreno es barato y está disponible. Dependiendo del volumen de 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 potencial transmisión de enfermedades y al riesgo de ahogarse en aguas profundas.

Operación y mantenimiento El mantenimiento periódico debe garantizar que el agua no haga cortocircuito ni se estanque 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

se encuentran en la página 246

Nivel de aplicación:

- * Vivienda
- ** Vecindario
- * Ciudad

Nivel de manejo:

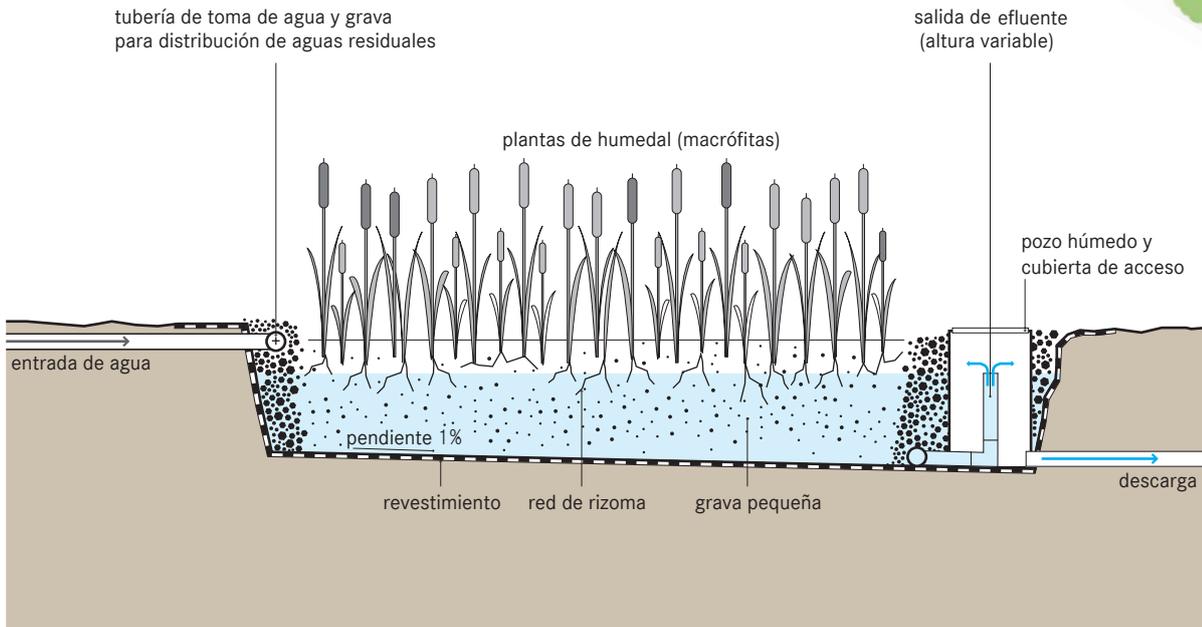
- * Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas:

- Efluente
- Aguas residuales
- Aguas negras
- Aguas cafés
- Aguas grises

Salidas:

- Efluente
- Biomasa



El humedal de flujo horizontal es un estanque grande lleno de grava y arena que es plantado con vegetación de humedal. A medida que las aguas residuales fluyen horizontalmente a través del estanque, el material de relleno filtra las partículas y los microorganismos degradan los elementos orgánicos.

El medio filtrante actúa como un filtro para remover sólidos, ofrece una superficie fija a la cual se adhieren las bacterias y una base para la vegetación. Aunque las bacterias anaerobias y facultativas degradan la mayor parte de la materia orgánica, la vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno en la zona de raíces para que las bacterias aerobias puedan colonizar el área y degradar los compuestos orgánicos. Las raíces de la planta juegan un papel importante en el mantenimiento de la permeabilidad del filtro.

Consideraciones de diseño El diseño de un humedal de flujo horizontal depende del objetivo de tratamiento y de la calidad y cantidad del afluente. Incluye decisiones sobre la cantidad de vías de flujo paralelas y la compartimentación. La eficiencia de remoción del humedal depende del área superficial (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 m² por persona equivalente.

El pretratamiento y el tratamiento primario son esenciales para prevenir obstrucciones y garantizar un tratamiento eficiente. El afluente puede airearse mediante una cascada de entrada para favorecer los procesos dependientes del oxígeno, como la reducción de la DBO y la nitrificación. 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 tener una altura 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 propensa a obstrucciones que la grava. En años recientes se han

usado con éxito otros materiales alternativos de plástico tal como PET (polyethylene terephthalate). Asimismo, el nivel del agua en el humedal se debe mantener entre 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. *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 sedimentado con un tratamiento primario antes de descargar en el humedal. Esta tecnología no es apropiada para aguas domésticas sin tratamiento (aguas negras). Es un buen tratamiento en comunidades que tienen tratamiento primario (por ejemplo, tanque séptico, S.3), pero que buscan conseguir un efluente de calidad superior.

El humedal de flujo horizontal es una buena opción cuando el terreno es barato 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 decaimiento 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 de flujo superficial (T.7). El humedal de flujo horizontal es estéticamente agradable y puede integrarse en 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 plantada en el humedal. Con el tiempo, la grava se obstruirá 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 y sólidos suspendidos, eliminación media de patógenos
- + No tiene los problemas de mosquitos que existen en el humedal de flujo superficial
- + No requiere energía eléctrica
- + Bajos costos de operación
- Requiere un terreno grande
- Poca remoción de nutrientes
- Riesgo de obstrucciones, si el tratamiento primario no funciona bien
- Periodo inicial largo antes de trabajar a capacidad plena
- Requiere experiencia en diseño y construcción

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 246

Nivel de aplicación:

- * Vivienda
- ** Vecindario
- ** Ciudad

Nivel de manejo:

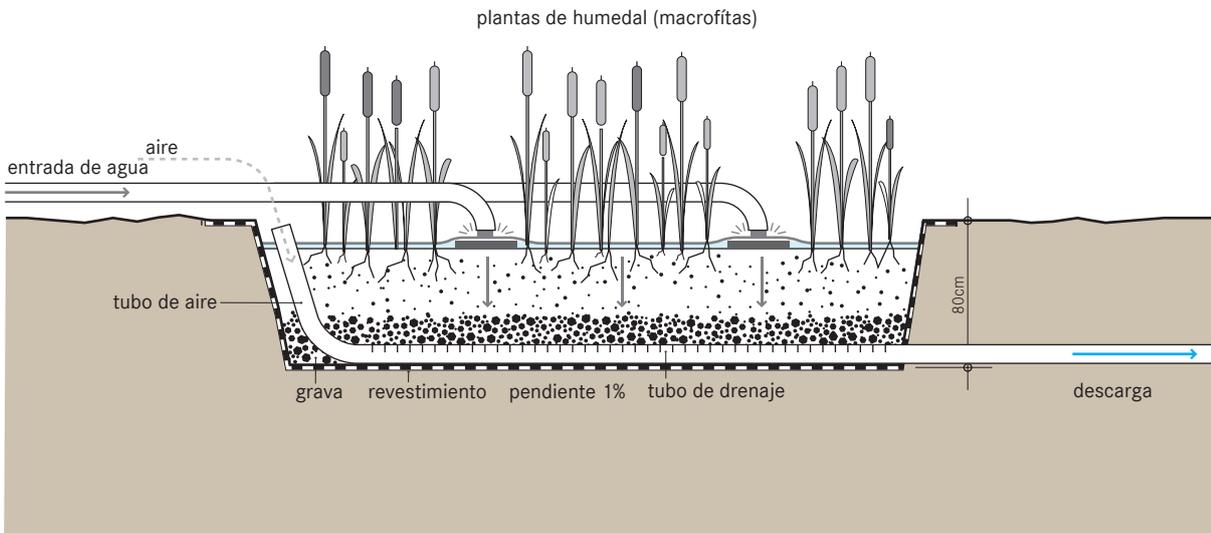
- * Vivienda
- * Compartido
- ** Público

Entradas:

- Efluente
- Aguas residuales
- Aguas negras
- Aguas cafés
- Aguas grises

Salidas:

- Efluente
- Biomasa



El humedal de flujo vertical es un lecho filtrante con plantas que drena en el fondo. Las aguas residuales son vertidas o dosificadas desde un punto alto en la superficie, utilizando un sistema mecánico de dosificación. El agua fluye verticalmente a través del medio filtrante hacia el fondo del lecho, 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 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 condiciones anaerobias y aerobias. Durante la fase de arrastre, las aguas residuales percolan hacia abajo a través del lecho no saturado. A medida que el lecho drena, el aire es atraído al interior y el oxígeno tiene tiempo para disiparse en el medio poroso.

El medio filtrante remueve los sólidos, provee una superficie fija en la cual se pueden adherir las bacterias y sirve como base para la vegetación. La capa superior se cubre de vegetación la cual puede desarrollar raíces anchas y profundas que permean el medio filtrante. La

vegetación transfiere una pequeña cantidad de oxígeno al área de raíz para que las bacterias aerobias puedan colonizar el área y degradar los materiales 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 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 ser bien sedimentado con tratamiento primario antes de descargar en el humedal. El diseño y el tamaño del humedal dependen de las cargas hidráulicas y orgánicas. Generalmente, se requiere una superficie de 1 a 3 m² por persona. Cada filtro debe tener un revestimiento impermeable y un sistema de recolección del efluente. Un tubo de ventilación conectado al sistema 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 de plantas comunes son *Phragmites australis* (carrizo), *Typha sp.* (totora) o *Echinochloa pyramidalis*. Es posible que sea necesario hacer pruebas para determinar la idoneidad de las plantas locales disponibles con las aguas residuales específicas.

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 de flujo superficial (T.7) o un humedal de flujo horizontal (T.8).

Idoneidad El humedal de flujo vertical es un buen tratamiento para comunidades que tienen tratamiento primario (por ejemplo, tanque séptico, S.3) 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 de flujo vertical puede generar nitrificación, es una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de amonio. Los humedales 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 decaimiento 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 pueden competir con la vegetación plantada en el humedal. 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 puede obstruirse con los sólidos acumulados si el tratamiento primario no funciona bien. Los intervalos de reposo podrían restablecer la conductividad hidráulica del lecho. Si esto no funciona, el material acumulado debe ser removido y las unidades 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 se presentan en el humedal de flujo superficial
- + Requiere menos espacio que el humedal de flujo superficial libre o que el humedal de flujo horizontal
- + Bajos costos de operación
- Requiere experiencia en diseño y construcción, sobre todo para el sistema de dosificación
- Riesgo de obstrucciones, si el tratamiento primario no funciona bien
- Requiere un mantenimiento más frecuente que un humedal de flujo horizontal
- Puede necesitar una fuente constante de energía eléctrica (si no se dispone de diferencia de alturas para la carga con sifones)
- No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 247

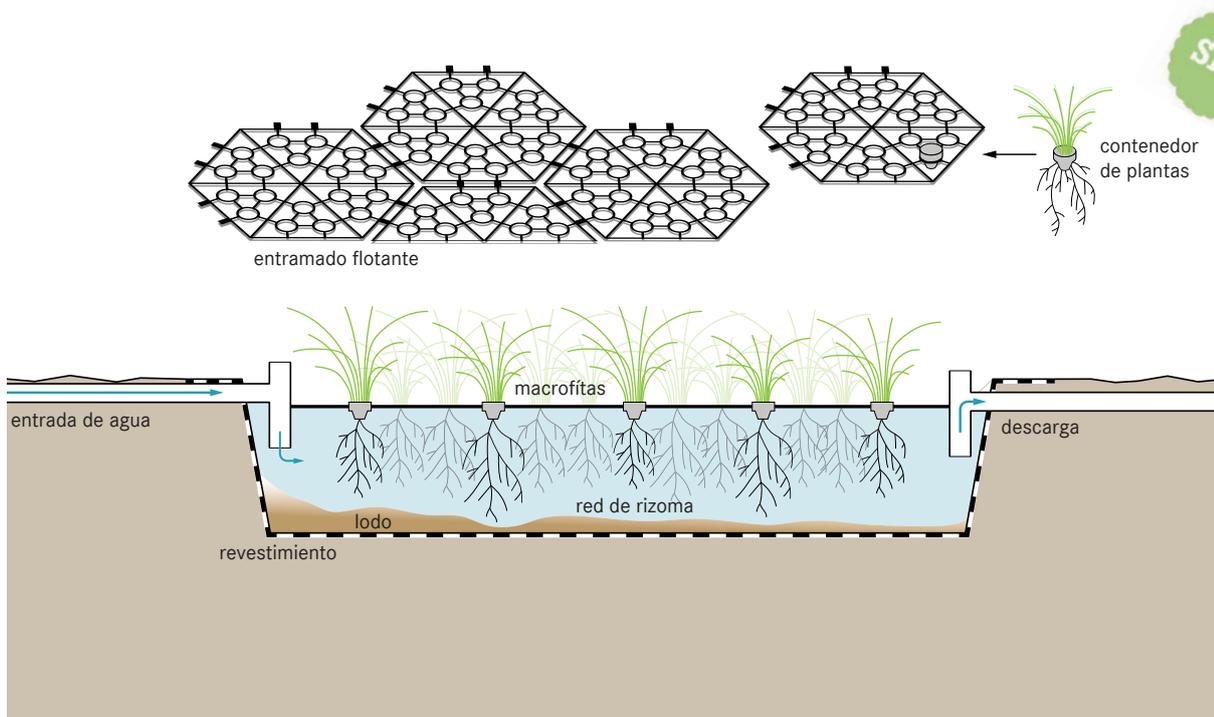
Nivel de aplicación:

 ** Vecindario
 ** Ciudad

Nivel de manejo:

 ** Compartido
 ** Público

Entradas: Efluente Aguas pluviales

Salidas: Efluente Biomasa Lodos


En los humedales flotantes, también conocidos como filtros verdes flotantes, las plantas flotan en la superficie del estanque o canal. La tecnología combina elementos de fitorremediación e hidroponía. Se utilizan macrófitas, que normalmente crecen en el suelo y desarrollan su sistema radicular en la tierra. Por lo tanto, se requieren estructuras flotantes especiales que permitan a las plantas permanecer en la superficie del agua. Estas estructuras flotantes o entramados están hechos de polímeros ligeros como el polipropileno u otros materiales flotantes.

La rizosfera de las plantas (raíces con su sistema de pelos radiculares) está suspendida en el agua y sirve de lugar microbiológicamente activo para las biopelículas de bacterias aerobias sésiles. El uso de plantas aerenquimáticas con tejido esponjoso permite el transporte de oxígeno desde la atmósfera hasta las raíces, donde airean pasivamente el agua y crean condiciones favorables para el crecimiento de las bacterias aerobias. Por lo tanto, las condiciones aerobias prevalecen en el estanque o canal hasta los extremos del sistema de raíces. El flujo de agua a través del denso sistema de raíces con la biopelícula provoca un intenso proceso de depuración, que

conduce a una reducción de los parámetros esenciales de contaminación, como la DBO. Las partículas sedimentables más pesadas se sedimentan, eliminando parte de los nutrientes adheridos a ellas. La eliminación adicional de nutrientes se produce a través del crecimiento bacteriano en el sistema radicular y la absorción por parte de las plantas, lo que da como resultado el crecimiento intensivo de las plantas.

Consideraciones sobre el diseño Al igual que con otros humedales o estanques, el canal o estanque debe estar revestido con una barrera impermeable (el geotextil es el más utilizado) para evitar la filtración hacia las aguas subterráneas. La profundidad de los canales o estanques varía desde menos de 1 m hasta más de 2 m. El flujo de agua y el caudal se ven afectados por la sedimentación de lodos y sedimentos en el fondo. Si la profundidad prevista supera con creces la profundidad de las raíces de las plantas, un determinado caudal de agua pasará por alto la zona de las raíces, lo que reducirá la eficiencia del tratamiento. Por lo tanto, es necesario calcular con precisión la profundidad adecuada. Dependiendo del tamaño del estanque, una buena distribución del agua en la entrada puede aumentar la

eficiencia. La alimentación y distribución del agua se puede realizar mediante vertederos o tubos perforados. Un canal serpenteante puede ser una alternativa a los estanques para controlar el flujo de agua y aumentar la eficiencia del tratamiento. Para la vegetación se suelen emplear plantas de aerénquimas como la *Typha latifolia*, esto puede hacerse *in situ* o en tierra fuera del agua. También es posible crear una cubierta vegetal mediante la plantación sucesiva a medida que se colocan las estructuras flotantes en el agua, siendo necesario fijarlas correctamente en los bordes.

Adecuación El sistema de raíces densas tiene una gran capacidad de filtrar y retener los sólidos en suspensión y una capacidad de moderada a alta para eliminar nutrientes y otros contaminantes, como metales pesados. Dependiendo del tiempo de retención, la tecnología absorbe las cargas hidráulicas máximas y es tolerante a los cambios de caudal. Sin embargo, es necesaria una protección adecuada contra la infiltración de aguas pluviales.

Las macrófitas que flotan artificialmente en la superficie de los humedales son una alternativa adecuada a otros sistemas de tratamiento basados en la naturaleza cuando la disponibilidad de terreno es el factor limitante. Según el volumen de agua a tratar y las necesidades de área, este tipo de humedal puede ser apropiado para sistemas de tratamiento individual, pequeñas agrupaciones urbanas y periurbanas, y comunidades rurales.

Aspectos sanitarios/aceptación Con un diseño bien integrado y agradable, la tecnología mejorará su entorno construido. Sin embargo, por razones de seguridad, es menos adecuado como área recreativa. También hay que procurar una cubierta vegetal densa y cuidada, ya que las superficies de agua descubiertas son los lugares preferidos para la proliferación de mosquitos.

Operación y mantenimiento. La limpieza regular de las partes muertas y caídas de las plantas y la recolección periódica de la biomasa son tareas esenciales de mantenimiento. Los humedales como canales simplifican estas tareas en comparación con los estanques. Es necesario retirar los lodos sedimentados, con intervalos que dependen de factores como el pretratamiento (por ejemplo, la sedimentación) y la profundidad del canal o estanque.

Pros y contras

- + Estéticamente agradable y un hábitat para la naturaleza
- + Alta eliminación de DBO, sólidos en suspensión y nutrientes
- + Eliminación de metales pesados
- + No requiere energía eléctrica
- + Bajo costo de operación
- + No hay problemas de olores con un mantenimiento adecuado
- + Requiere menos espacio en comparación con otros sistemas de humedales
- Tiempo necesario para el crecimiento de las raíces al establecer la cubierta vegetal
- Puede favorecer la proliferación de mosquitos si no se mantiene adecuadamente
- Requiere un especialista para el diseño e instalación
- Requiere estructuras flotantes especiales que pueden ser difíciles de obtener
- Vida útil aún no aprobada

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 247

Nivel de aplicación:

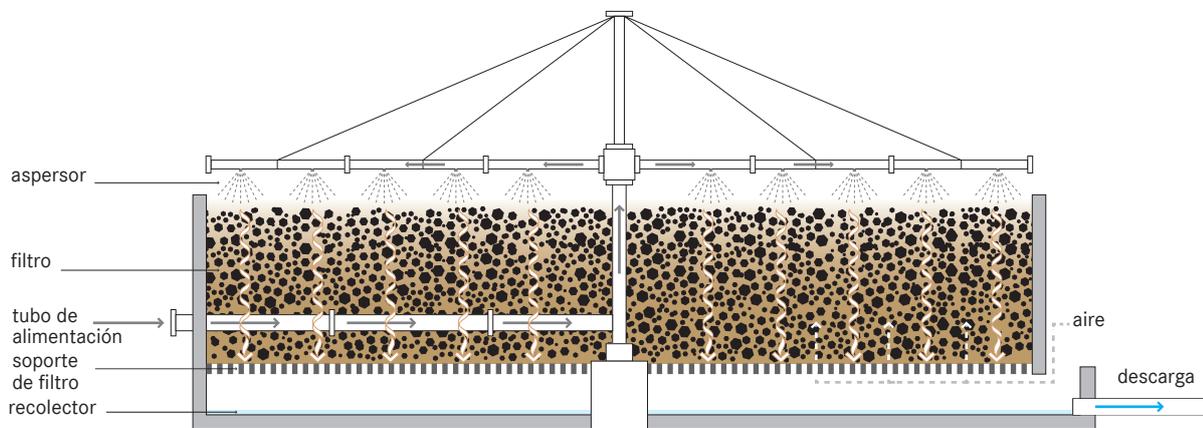
- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas: Efluente Aguas negras
 Aguas cafés Aguas grises

Salidas: Efluente Lodos



El filtro percolador es un reactor biológico de lecho fijo que funciona en condiciones aerobias (principalmente). Las aguas residuales previamente sedimentadas son rociadas sobre el filtro o vertidas por “goteo”. Al atravesar el agua por los poros del filtro, los materiales orgánicos son degradados por la biopelícula adherida al material del filtro.

El filtro percolador se rellena con un material que tenga una 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 biopelículas. Los organismos que crecen en la fina biopelícula sobre la superficie del medio filtrante, oxidan la carga orgánica en las aguas residuales en dióxido de carbono y agua, al tiempo que generan nueva biomasa.

El agua residual pretratada entra por goteo 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 altura. El material filtrante ideal es aquel que sea durable, de bajo costo, que tenga una alta relación 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 m²/m³ para rocas y de 90 a 150 m²/m³ 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 del lodo sean recolectados. El filtro percolador generalmente se diseña con un patrón de recirculación para que el efluente mejore la humectación y el lavado del material filtrante.

Con el tiempo, la biomasa se engrosará y la capa adherida se verá privada de oxígeno; entrará en un estado endógeno, perderá su capacidad para mantenerse unida y se desprenderá. Las condiciones de carga elevada también causan desprendimiento. El efluente recolectado debe clarificarse mediante un tanque de sedimentación para remover la biomasa que pueda haberse desprendido del filtro. La tasa de carga hidráulica y de nutrientes (es decir, la cantidad de agua residual que se puede aplicar al filtro) se determina en función a las características del agua residual, el tipo de material 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 percolación 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 de olores y moscas exigen que el filtro se construya lejos de las viviendas y los comercios. Deben adoptarse medidas adecuadas para el tratamiento preliminar y primario, de vertido de efluentes y de tratamiento de sólidos, debido a que pueden presentarse 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 que pastan en la biopelícula y las moscas en los filtros son problemas frecuentes asociados a los filtros percoladores y deben ser manejados mediante el retrolavado e inundaciones periódicas.

Pros y contras

- + Puede ser operado en un rango de tasas de carga hidráulica y orgánica
- + Provee una nitrificación eficiente (oxidación de amonio)
- + Requiere un terreno pequeño en comparación con los humedales
- 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

se encuentran en la página 248

Nivel de aplicación:

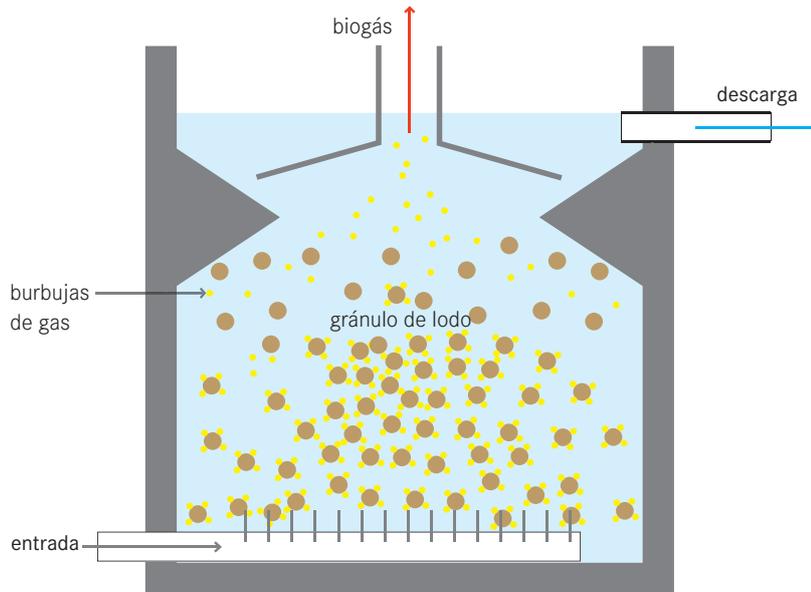
- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas:  Aguas negras  Aguas cafés
 (+  Aguas grises)

Salidas:  Efluente  Lodos  Biogás



El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) 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 en su camino a través de este 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 ascienden, 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 fondo del reactor. El efluente clarificado se extrae de la parte superior del reactor 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 del manto de lodo. Debido al régimen de flujo ascendente, los organismos que forman los gránulos 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 sedimentador 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 los tanques sépticos (S.3), 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/m³/d, su aplicación en 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 DBO. Cuando

el afluente es de baja carga, o 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 no deben 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 retiro de lodos 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 desludado frecuente)
- + El biogás puede usarse para generar 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 sedimentación 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

se encuentran en la página 248

Nivel de aplicación:

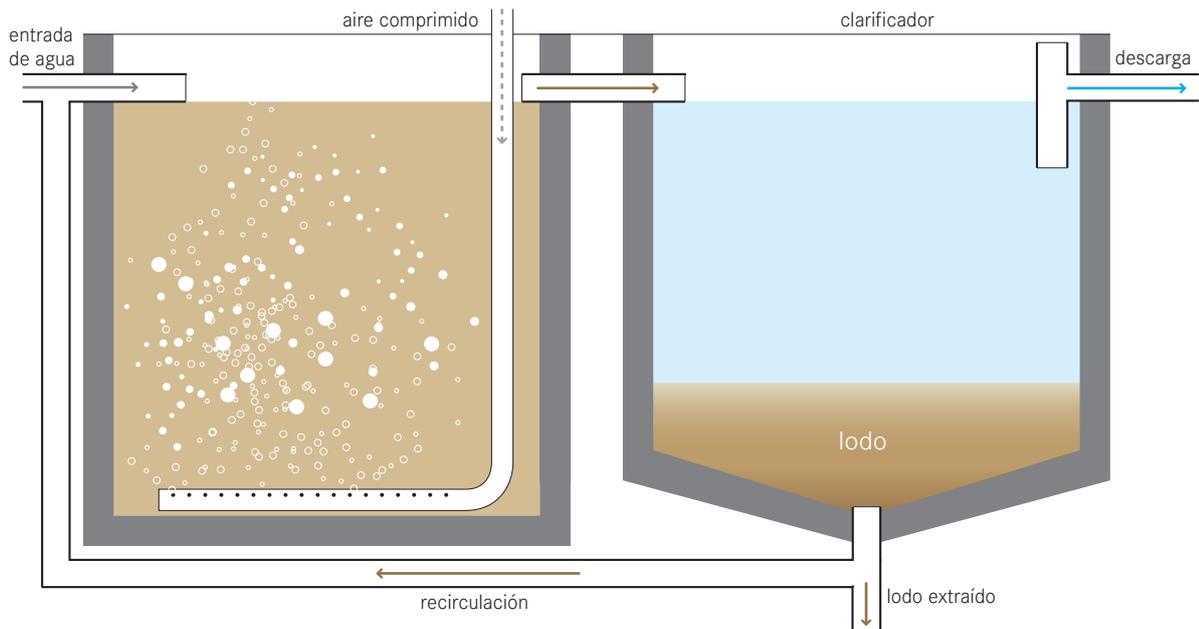
- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas:  Efluente  Aguas negras
 Aguas cafés  Aguas grises

Salidas:  Efluente  Lodos



El proceso de lodos activados se refiere a una unidad de reactor de varias cámaras que hace uso de microorganismos altamente concentrados para degradar compuestos 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 aireen en un tanque de aireación. La aireación y la mezcla se realizan al bombear aire 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 un clarificador secundario mediante sedimentación

por gravedad. Parte del lodo es recirculado desde el clarificador hacia el reactor. El efluente puede descargarse o tratarse en una unidad 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 tratamiento final (véase POST, p. 116). Los procesos biológicos que se producen son eficaces para remover materiales solubles, coloidales y partículas. El reactor puede diseñarse para nitrificar y desnitrificar biológicamente, así como también para remover fósforo biológico.

El diseño se basa 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 material orgánico, y para obtener

un producto estabilizado que sea adecuado para reúso o disposición final. Es importante tener en cuenta este paso en la fase de planificación de la planta de tratamiento.

Para alcanzar objetivos específicos de DBO, nitrógeno y fósforo en los efluentes, se han realizado diferentes adaptaciones y modificaciones al diseño básico de los lodos activados. Entre las modificaciones más conocidas se encuentran los reactores secuenciales de flujo discontinuo (SBR), las zanjas de oxidación, la aireación extendida, los lechos móviles, los biorreactores de película fija y los de membrana.

Si las plantas de tratamiento existentes que utilizan la tecnología de lodos activados necesitan ser actualizadas (mayor carga debido a la creciente urbanización o a normas de vertido más estrictas) y el espacio es una limitación, se puede considerar la posibilidad de reequipar los tanques existentes con módulos SAFF (o MBBR como se presenta en la S.6). Estos procesos -aunque siguen formando parte de la tecnología de lodos activados- permiten una mayor biomasa activa por volumen, debido a su elevada superficie para el crecimiento adherido de los microorganismos. Esto conduce a un mayor rendimiento del tratamiento en comparación con los procesos convencionales de lodos activados basados en el crecimiento en suspensión de los microorganismos en el agua aireada. Como se explica en la ficha tecnológica S.6, los MBBR pueden ser igualmente adecuados para mejorar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes debido a la funcionalidad de su 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 lodo excedente, pero no se eliminan por completo.

Operación y mantenimiento Se requiere personal altamente capacitado para dar mantenimiento y resolver problemas. Los equipos mecánicos (mezcladores, aireadores y bombas) necesitan un mantenimiento regular. 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).

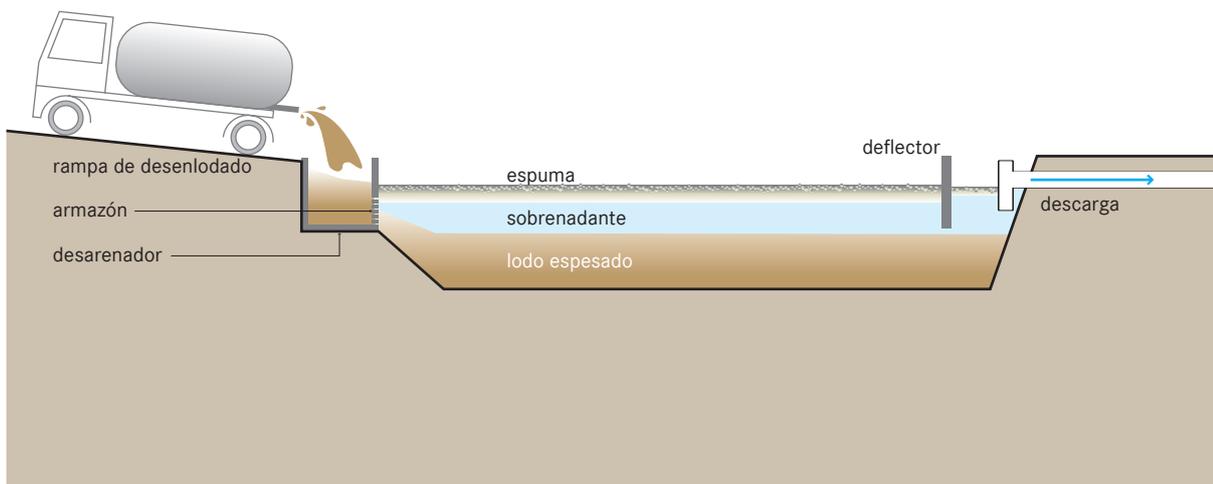
Pros y contras

- + Resistente a cargas de choque orgánicas e hidráulicas
- + 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

se encuentran en la página 248

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Lodos
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	Salidas:  Lodos  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 sedimentación que permiten espesar y deshidratar lodos. 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 compuestos orgánicos y no ha sufrido degradación significativa es difícil de deshidratar. Por el contrario, el lodo que ha sido objeto de degradación anaerobia significativa es más fácil de deshidratar.

Para deshidratarlo 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, proveniente de un tanque séptico, S.3), aunque sufre menos

degradación y requiere más tiempo para sedimentarse. El proceso de degradación podría dificultar la sedimentación del lodo porque los gases producidos se convierten en burbujas que suben y vuelven a suspender los sólidos. Conforme el lodo se sedimenta y digiere, el sobrenadante debe decantarse y tratarse por separado. El lodo espesado puede entonces deshidratarse o compostarse más aún.

Consideraciones de diseño Se requieren dos estanques 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 también son comunes ciclos más largos. 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 aún 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 este 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

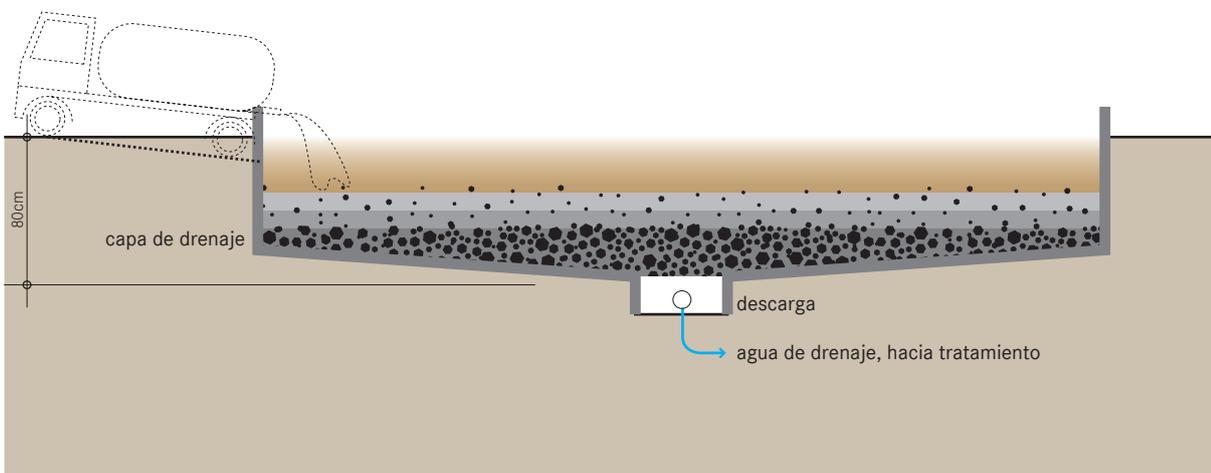
se encuentran en la página 248

Nivel de aplicación:

- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas:  Lodos**Salidas:**  Lodos  Efluente

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, del 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. En el diseño de lechos de secado sin plantas debe considerarse 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, co-compostaje, T.17).

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 áreas periurbanas y rurales donde los terrenos son baratos y hay 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 motorizado.

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 delgada. El área de descarga y los drenajes del efluente deben lavarse con regularidad.

Pros y contras

- + Buena eficiencia de deshidratación, 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

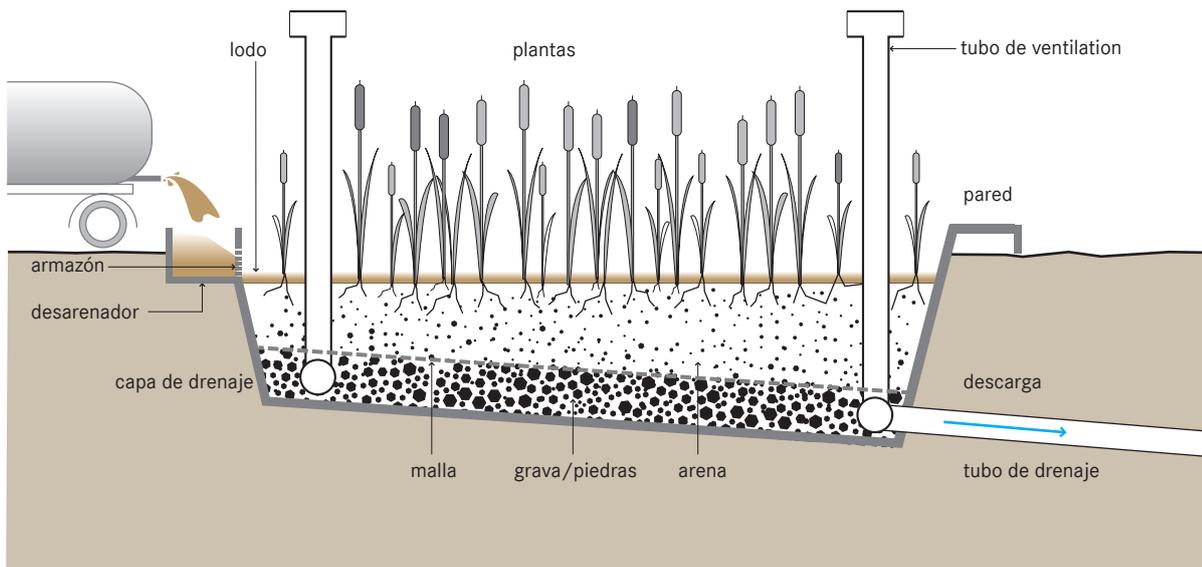
se encuentran en la página 249

Nivel de aplicación:

- Vivienda
- Vecindario
- Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
- Compartido
- Público

Entradas:  LodosSalidas:  Lodos  Efluente  Biomasa

El lecho de secado con plantas es similar al lecho de secado sin plantas (T.15), 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 deshidratar 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 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 sobre la superficie y el líquido filtrado fluye hacia abajo a través del lecho filtrante donde es recolectado mediante un drenaje.

Consideraciones de diseño Los tubos de ventilación conectados al sistema de drenaje contribuyen con las condiciones aerobias en el filtro. Un diseño general para la colocación del 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, del ambiente y de las limitaciones de operación. Se han reportado tasas de aplicación de lodo de 100 a 250 kg/m²/año en climas tropicales cálidos. En climas más fríos, como el norte de Europa, las tasas suelen ser hasta de 80 kg/m²/año. Dos o más lechos paralelos pueden usarse alternativamente para permitir suficiente degradación y reducción de patógenos de la capa superior

del 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 su 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 de 100 000 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, debería haber pocos problemas de 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 un mayor tiempo de almacenamiento y secado.

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

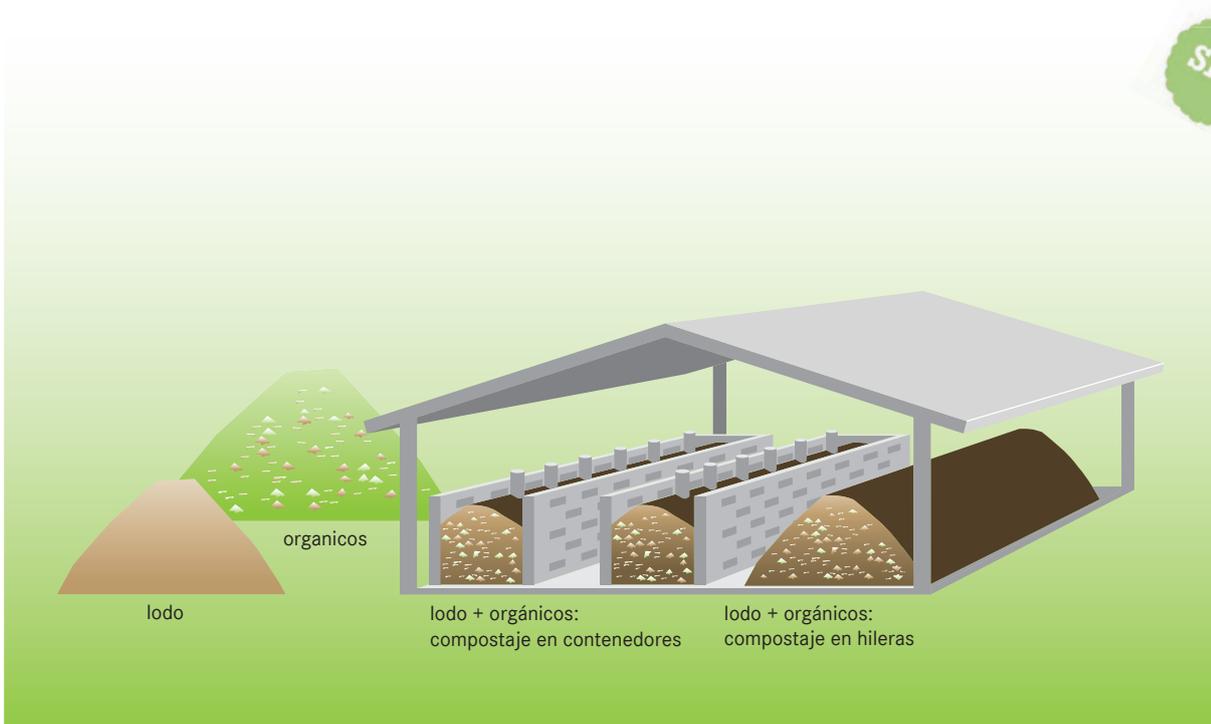
se encuentran en la página 249

Nivel de aplicación:

- Vivienda
 * Vecindario
 ** Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 * Compartido
 ** Público

Entradas: Lodos Orgánicos**Salidas:** Compost

El co-compostaje es la degradación aerobia controlada de materiales orgánicos, usando más de una materia prima (lodo fecal y residuos sólidos orgánicos). El lodo fecal tiene un alto contenido de nitrógeno y humedad, mientras que los residuos 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.

En el proceso de compostaje, los microorganismos degradan la materia orgánica en un ambiente aerobio y la convierten en compost, un material rico en humus. Además de la necesidad de oxígeno o aireación, hay otros factores que controlan la actividad microbiológica, en concreto la humedad del sustrato, la temperatura, el pH y la relación C:N del material de compostaje. En las primeras semanas del proceso de descomposición aerobia (fase termófila), el compost puede calentarse hasta 65°C; mientras que, en la fase de maduración, la temperatura disminuye a lo largo de varias semanas y da lugar, al cabo de 6 a 12 meses, a un producto final valioso y comercialmente viable, el compost. Un contenido de humedad equilibrado que evite la dese-

cación (< 45 % de humedad) o la sobresaturación (> 60 %) favorece la descomposición y una relación C:N de 25-35:1 es óptima para el proceso de compostaje.

Consideraciones de diseño Existen diferentes tipos de diseños de compostaje: los más utilizados para el co-compostaje son el compostaje abierto y el compostaje en contenedores. En el compostaje abierto, el material mezclado (lodo y desperdicios sólidos) se amontona en pilas alargadas, llamadas, hileras, y se deja descomponer. Las pilas de hileras se voltean periódicamente para proporcionar oxígeno y garantizar que todas las partes de la pila estén expuestas al calor, asegurando la muerte de los patógenos.

Aunque el proceso de compostaje parece una tecnología sencilla y pasiva, una instalación que funcione bien requiere una cuidadosa planificación y diseño, así como una supervisión precisa del proceso. Dependiendo del clima y del espacio disponible, la instalación puede estar techada para evitar el exceso de evaporación y/o proporcionar protección contra la lluvia y el viento. Dado que la humedad desempeña un papel importante en el proceso de compostaje, se recomienda especialmente que las instalaciones estén cubiertas en los lugares donde llueve mucho.

La instalación debe estar situada cerca de las fuentes de residuos orgánicos y lodos fecales para minimizar los costos de transporte, pero lo suficientemente alejada de las viviendas y negocios para minimizar las molestias.

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. Aparte de las consideraciones técnicas, el compostaje sólo tiene sentido si hay una demanda para el producto (clientes dispuestos a comprar el compost). Con el fin de encontrar compradores, debe producirse un compost 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 65 °C puede reducir la carga de patógenos en el lodo hasta alcanzar un nivel seguro para tocarlo y procesarlo. Tras la fase termófila, debe evitarse la reinfeción del compost al mezclarlo con compost fresco o incluso al utilizar herramientas contaminadas. Aunque el compost terminado pueda ser manejado con seguridad, se debe tener cuidado, independientemente del tratamiento anterior. Es necesario monitorear periódicamente los niveles de patógenos mediante pruebas microbianas. Cuando el compost se embolsa y se destina a la venta, se requieren controles más estrictos para los patógenos. 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 Dependiendo del tamaño de los residuos orgánicos, puede ser necesario romperlos o triturarlos para aumentar la superficie en la que los microorganismos pueden alimentarse y producir una mezcla de compost más homogénea. Sin embargo, la estructura más pequeña del material reducirá el flujo de aire dentro de las pilas. En el caso de los lodos deshidratados, debe utilizarse una proporción de 1:2 a 1:3 entre lodos y residuos sólidos. Los lodos líquidos deben utilizarse en una proporción de lodos a residuos sólidos de 1:5 a 1:10. Las pilas de hileras deben tener entre 1 y 1,5 m de altura y estar aisladas con compost, bolsas de sisal u otros materiales extraíbles (inorgánicos) que permitan el flujo de aire pero que promuevan una distribución uniforme del calor dentro de la pila. La temperatura de la pila debe aumentar

hasta unos 65 °C en la primera semana y luego descender hasta los 40 °C en las siguientes.

Las instalaciones de co-compostaje en contenedores se airean a través de agujeros en las paredes y/o tubos perforados, y el material en descomposición generalmente no necesita ser volteado. Los contenedores o cajas deben estar cubiertos y funcionan en un proceso por lotes. El proceso de descomposición es más lento, pero puede acelerarse mediante la aireación forzada.

El personal de mantenimiento debe cuidar la calidad del material del afluente, y mantener un registro de los afluentes, efluentes, 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 periódicamente, ya sea con un cargador frontal o manualmente.

Las trituradoras para picar trozos grandes de desperdicios sólidos (por ejemplo, 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

- + Cierra ciclos de producción de alimentos
- + Produce un producto comercialmente viable como valioso acondicionador de suelo
- + 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
- + Dependiendo de la técnica escogida, los costos de capital y operativos son bajos
- + Para la mayoría de técnicas, no requiere energía eléctrica
- En la mayoría de técnicas se 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
- El compost es demasiado voluminoso para que sea económicamente rentable transportarlo largas distancias

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 249

Nivel de aplicación:

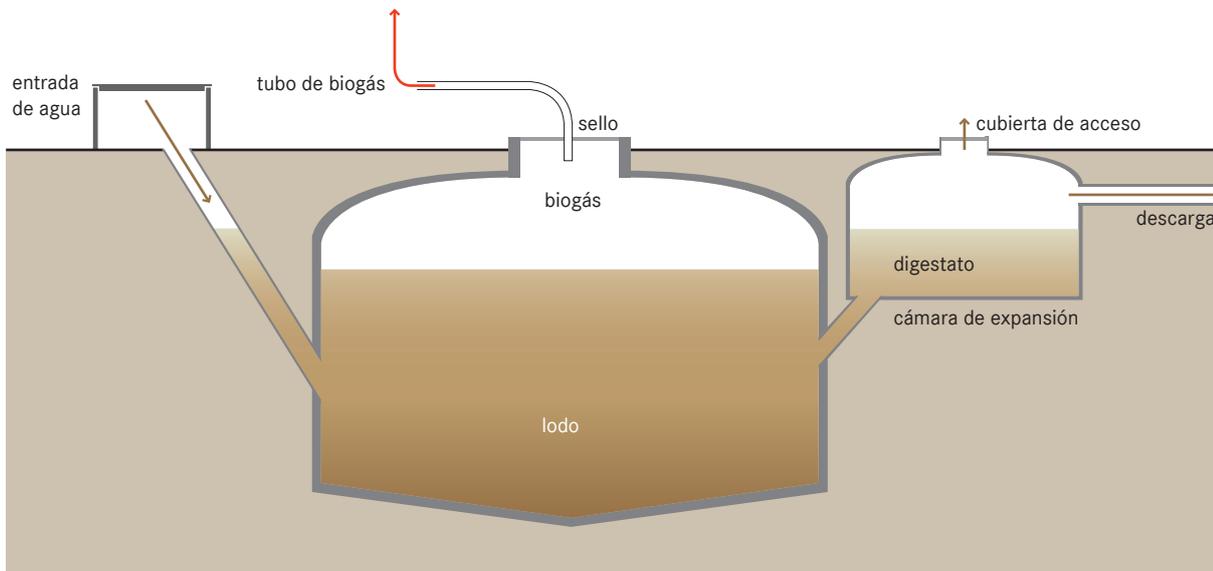
- ** Vivienda
- ** Vecindario
- ** Ciudad

Nivel de manejo:

- ** Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Lodos Aguas negras
 Aguas cafés Orgánicos

Salidas: Lodos Biogás



El reactor de biogás o digestor anaerobio es una tecnología de tratamiento anaerobio que produce: a) un lodo digerido (digestato), que puede usarse como fertilizante, y b) biogás, que puede utilizarse como fuente de energía. El biogás es una mezcla de metano, dióxido de carbono y otros gases 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 y/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 mientras sube. El lodo digerido es rico en materiales 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

digestores con campanas flotantes. En el domo fijo el volumen del reactor es constante. A medida que se genera el gas, este ejerce una presión y desplaza la mezcla de lodo hacia arriba, a una cámara de expansión. Cuando el gas es removido, la mezcla fluye de vuelta al reactor. La presión se usa para transportar el biogás a través de las tuberías. En un reactor de campana flotante la campana sube y baja según la producción y el retiro de gas, lo que produce una presión de gas constante (en función del peso de la campana flotante, a menudo una campana de acero). Como alternativa, el reactor puede cubrirse con una estructura de membrana (carpa) simple o doble para almacenar el gas. Para minimizar las pérdidas de distribución, los reactores deben instalarse cerca al lugar donde el gas será usado.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) en el reactor debe ser al menos de 15 días en climas cálidos y de 25 días en climas templados. Para afluentes muy patógenos, 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 (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 punto 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 1000l para una sola familia hasta 100000l 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 para la sedimentación y estabilización de lodos en las plantas de tratamiento (semi)centralizadas. Se utiliza mejor cuando es posible una alimentación regular. Los niveles más altos de producción de biogás se obtienen con sustratos concentrados, mientras que la producción de biogás a partir de aguas residuales/efluentes con bajo contenido en materia seca es pobre.

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 de 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 tanque séptico. Los residuos orgánicos usados como sustrato deben 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 del reactor deben ser removidas. Dependiendo del diseño y de los afluentes, el reactor puede vaciarse una vez cada 5 a 10 años.

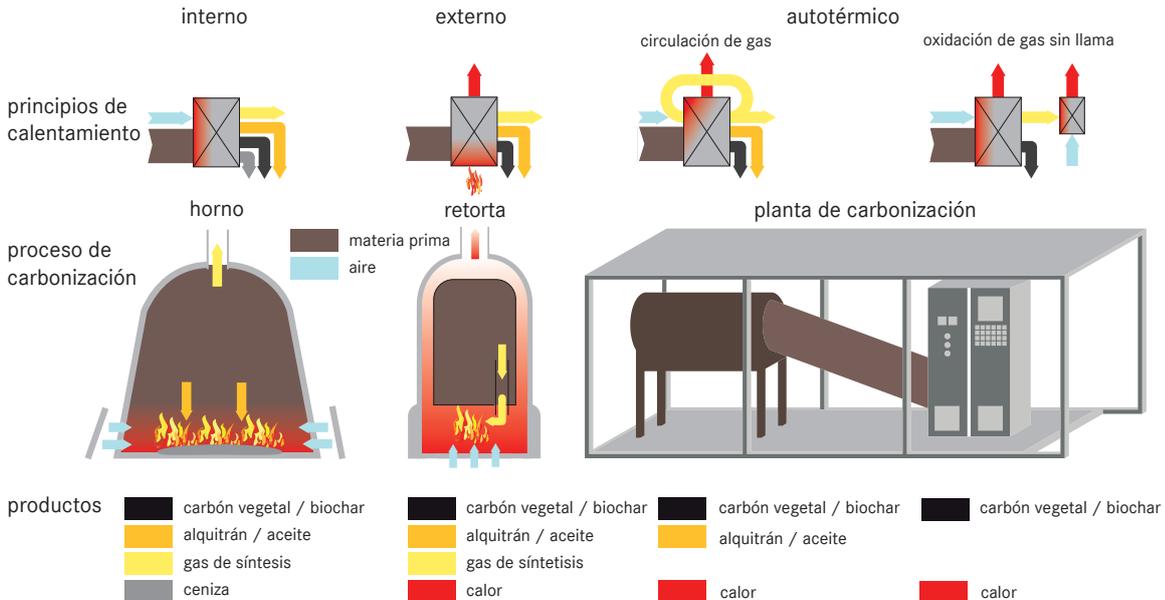
Pros y contras

- + 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

se encuentran en la página 250

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas: Excretas, Heces, Lodos
		Orgánicos, Materiales secos de limpieza
<input type="checkbox"/> * Vivienda <input type="checkbox"/> * Vecindario <input type="checkbox"/> ** Ciudad	<input type="checkbox"/> * Vivienda <input type="checkbox"/> * Compartido <input type="checkbox"/> ** Público	Salidas: Biochar
		bioaceite, gas de síntesis, calor, (hidrochar)



La carbonización es la conversión termoquímica de la biomasa y otros materiales con componentes de carbono a altas temperaturas en un ambiente de oxígeno limitado. La carbonización se usa a menudo como sinónimo de pirólisis, pero la pirólisis se define como un proceso en ausencia de oxígeno. Durante la carbonización, se necesita un flujo de aire limitado y controlado para el proceso. Por lo tanto, todos los procesos de conversión termoquímica descritos aquí se refieren a la carbonización.

Las materias primas orgánicas se convierten en un material de carbono sólido parecido al carbón vegetal, comúnmente denominado biochar, y en otros productos como (bio)aceite/alquitrán y gas de síntesis. Hay varios tipos de procesos de carbonización que difieren en el tiempo de reacción, desde la carbonización lenta a rápida y ultrarrápida. Cada proceso utiliza diferentes temperaturas, duración del calentamiento o presión del reactor para producir diferentes cantidades y calidades de los productos finales. Sin embargo, el tipo de materia prima también es un factor decisivo. Varios procesos avanzados de carbonización permiten reintroducir el gas de síntesis como fuente de energía para calentar el proceso. Otros procesos con ciclos externos para el gas de

síntesis que utilizan la oxidación sin llama, pueden evitar completamente la formación de aceites/alquitranes.

Consideraciones de diseño Las materias primas para la carbonización incluyen materiales orgánicos como los residuos sólidos municipales, lodos de depuradora, madera y residuos de cultivos de tierras agrícolas. Dependiendo del proceso de carbonización, la biomasa debe tener un determinado contenido de materia seca para permitir un proceso de conversión eficiente. Un proceso de carbonización eficiente también requiere un control preciso de la temperatura, el tiempo y el oxígeno disponible. Existe un proceso de carbonización térmica húmeda conocido como HTC (*Hydro Thermal Carbonisation*) que utiliza presión y temperaturas inferiores a 300 °C. El resultado de este proceso se denomina hidrochar y tiene diferentes propiedades en comparación con el biochar. Su persistencia en ambientes orgánicos del suelo es mucho menor que el biochar.

Dependiendo del principio de calentamiento, se puede distinguir entre diferentes procesos de carbonización. En los hornos se utiliza energía térmica interna para iniciar el proceso y mantenerlo en marcha, mientras que en los hornos de tipo retortas la energía térmica necesaria se

suministra desde el exterior del reactor de proceso. El desarrollo de plantas de carbonización con circulación de gas de síntesis o ciclos de proceso externos para el gas de síntesis permite procesos de carbonización autotérmicos en los que la energía externa sólo es necesaria para el arranque del proceso. La carbonización puede realizarse mediante procesos de alimentación por lotes o continuos. Mientras que los hornos (más adecuados para la escala doméstica) y las retortas (escala doméstica y compartida) funcionan principalmente según el principio de lotes, incluso con cámaras de procesamiento dobles o múltiples, las plantas de carbonización permiten un funcionamiento continuo (escala comunitaria y pública). Aunque el desarrollo de hornos mejorados, como el horno Kontiki, permite reducir las emisiones nocivas durante el proceso de carbonización, aún se espera un impacto ambiental significativo. Lo mismo ocurre con las retortas, en las que es posible un mejor aprovechamiento del calor liberado y se pueden utilizar filtros para reducir las emisiones de gases nocivos. Las plantas de carbonización modernas permiten un funcionamiento prácticamente sin emisiones con varias opciones para recuperar la energía térmica liberada.

Idoneidad La carbonización de los lodos puede realizarse normalmente a nivel centralizado, donde los lodos pueden secarse antes del tratamiento de conversión térmica. El co-procesamiento de los lodos con otra biomasa, como la madera, el aserrín o la cáscara de café, puede aumentar la producción de biochar y ayudar a reducir el contenido de humedad de la materia prima.

Aspectos sanitarios/aceptación Dependiendo de la técnica de carbonización, el operador del equipo puede estar expuesto a emisiones nocivas. Se recomienda el uso de filtros y el uso de equipos de protección personal para protegerse de otros posibles accidentes en las plantas de carbonización. Los productos de la carbonización, el gas de síntesis y los aceites/alquitranes, suponen un riesgo potencial para la salud. Sin embargo, en el caso del biochar, el contenido de sustancias químicas orgánicas o patógenas se reduce significativamente o se elimina por completo durante la carbonización debido al proceso de conversión a alta temperatura. Cuando el biochar se utiliza como acondicionador del suelo, los metales pesados restantes en el biochar resultante no suelen estar disponibles para ser absorbidos por las plantas en crecimiento. El biochar aplicado al suelo puede funcionar como un sumidero de carbono debido a su lenta descomposición.

Las técnicas simples de carbonización son conocidas en todo el mundo y se utilizan sobre todo para producir carbón vegetal como fuente de energía. El desarrollo

de las tecnologías de carbonización ha avanzado considerablemente en los últimos años en los países industrializados, pero las sofisticadas plantas de carbonización libres de emisiones siguen siendo poco conocidas en los países de ingresos bajos y medios, debido también a sus costos de inversión considerablemente más elevados.

Operación y mantenimiento La materia prima se carga manualmente en los procesos por lotes, mientras que en las plantas de alimentación continua se hace mecánicamente mediante cintas transportadoras. Las instalaciones de carbonización sencillas para uso doméstico o compartido no requieren una mano de obra altamente calificada, mientras que los sistemas de carbonización avanzados requieren operadores bien capacitados. Durante la operación, debe garantizarse un ambiente controlado de bajo oxígeno en el reactor. El suministro accidental de aire descontrolado al reactor de carbonización, por ejemplo, a través de fugas, puede crear una combustión inestable y provocar una explosión o un incendio. La operación segura de una instalación de carbonización requiere, entre otras cosas, dispositivos de seguridad como puertas de alivio de presión, desconexión automática de la temperatura y dispositivos de corte de energía. Los hornos y retortas en el proceso por lotes tienen unos costos de inversión relativamente bajos. Sin embargo, los costos de operación pueden ser altos debido al costo de la mano de obra para cargar el reactor o reactores discontinuos y al costo de la energía para calentar hasta la temperatura de reacción requerida utilizando una fuente de combustible externa.

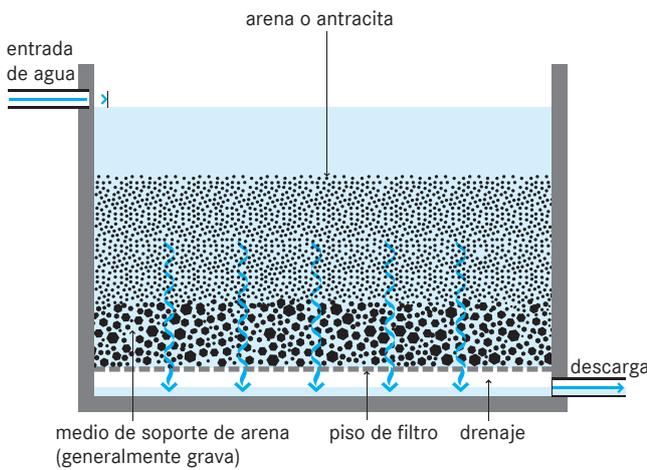
Pros y contras

- + Tiempo de tratamiento rápido, generalmente sólo de minutos a horas
- + Las altas temperaturas del proceso de carbonización destruyen agentes patógenos y contaminantes orgánicos
- + Gran reducción del volumen de los residuos sólidos
- + Una fuente de ingresos cuando se vende el biochar u otros productos como energía y aceites
- + El uso de biochar como acondicionador del suelo permite el secuestro de carbono
- Los procesos de carbonización más simples pueden liberar emisiones nocivas al aire
- Las plantas de carbonización requieren altos costos de inversión y operadores bien formados
- Los procesos de carbonización en seco requieren el secado de la biomasa

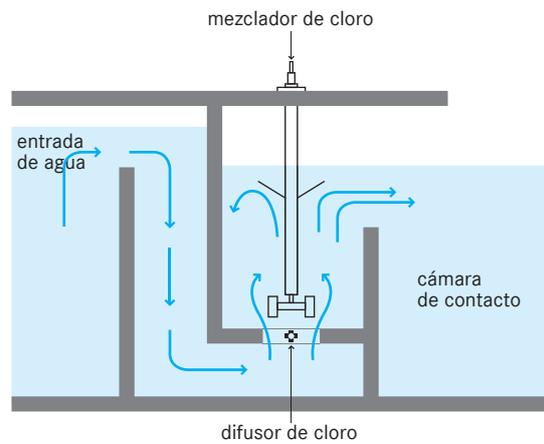
Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 250

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



filtración terciaria (p. ej., filtración de profundidad)



desinfección (p. ej., clorinación)

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 corresponder a la práctica de uso final prevista o a la calidad del cuerpo receptor. Las directrices de la OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises (WHO, 2006) 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 de superficie. La filtración profunda consiste 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 adsorbentes 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 de superficie consiste en la eliminación de material particulado por tamizado mecánico cuando el líquido pasa a través de una lámina fina (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 profundas (véase T.5) la desinfección ocurre en forma natural. La radiación UV también puede generarse con lámparas especiales instaladas en un canal o en una tubería. El ozono es un poderoso oxidante y se genera a partir 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 de 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 quedar 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 o 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

se encuentran en la página 250

A diferencia de la 2.^a edición del compendio Eawag, que se refiere al final de la cadena de servicios como grupo funcional **D** uso y/o disposición final, nosotros nos referimos a este paso como **R** reúso y/o disposición final. Con ello se pretende resaltar la importancia del reúso. Esta forma de designación ha sido utilizada por la “*Guide to Sanitation Resource Recovery Products & Technologies, 1st Edition (2020, SLU)*” y se adopta aquí. Este compendio en particular abarca numerosos aspectos y tecnologías relacionados con el reúso en detalle y es muy recomendable como fuente adicional sobre este tema.

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 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*).

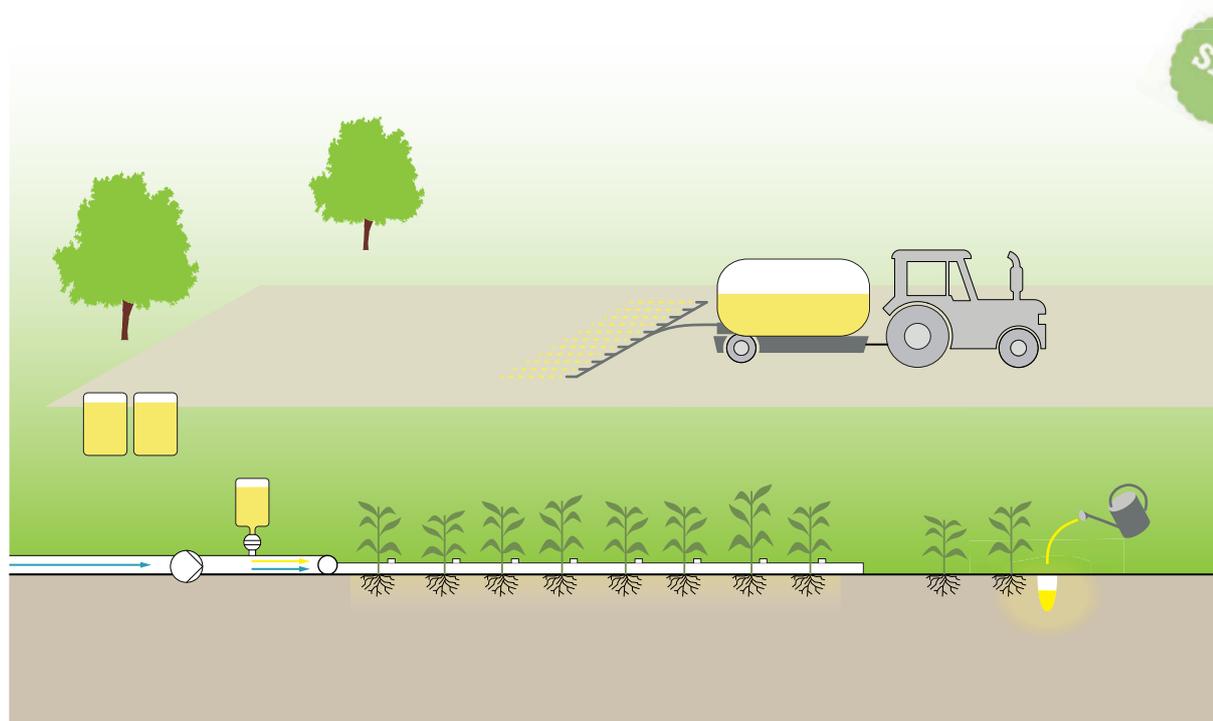
- R.1 Aplicación de orina
- R.2 Aplicación de compost
- R.3 Aplicación de lodos
- R.4 Aplicación de efluente/irrigación
- R.5 Pozo de absorción
- R.6 Lecho de infiltración
- R.7 Laguna de acuicultura o acuicultura
- R.8 Laguna de plantas flotantes
- R.9 Disposición final del agua/recarga de acuíferos
- R.10 Disposición y almacenamiento en superficie
- R.11 Combustión de biogás
- R.12 Aplicación de biochar

En cualquier contexto, la elección de la tecnología depende generalmente 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



Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Orina almacenada
<ul style="list-style-type: none">  Vivienda  Vecindario  Ciudad 	<ul style="list-style-type: none">  Vivienda  Compartido  Público 	Salidas:  Biomasa



La orina almacenada es una fuente concentrada de nutrientes que puede aplicarse como fertilizante líquido en la agricultura. La orina puede ser tan efectiva como los fertilizantes sintéticos disponibles en el mercado. Los métodos adecuados de almacenamiento y aplicación deben minimizar las pérdidas de nitrógeno (N) a través de la volatilización del amoníaco.

La orina contiene la mayor parte de los nutrientes excretados por el organismo. Su composición varía en función de la dieta, el sexo, el clima, la ingesta de agua, etc., pero alrededor del 80-85% del nitrógeno, hasta el 66% del fósforo y el 74% del potasio excretados por el cuerpo están en la orina (Rich Earth Institute). La orina también contiene una amplia gama de micronutrientes importantes para el crecimiento de las plantas que no están presentes en la mayoría de los fertilizantes disponibles comercialmente. La orina debe ser almacenada antes de su reutilización en recipientes que estén sellados para evitar pérdidas de nitrógeno (véase S. 1). Las directrices de almacenamiento de la orina dependen de la temperatura de almacenamiento y del cultivo al que se destina como fertilizante, pero toda la orina debe ser almacenada durante al menos un mes (para su aplicación en algunos cultivos 6 meses) antes de su uso (WHO, 2006).

Consideraciones de diseño El método de aplicación y las condiciones ambientales durante el proceso, son factores importantes para evitar o reducir las pérdidas de nutrientes, especialmente de nitrógeno. El Rich Earth Institute recomienda aplicar la orina en suelos húmedos y en condiciones de alta humedad evitando la pulverización para minimizar las pérdidas de amoníaco durante la aplicación; en su lugar, la orina debe aplicarse cerca del suelo o mejor en el suelo.

La orina puede aplicarse a mano y verterse en los surcos, que deben cubrirse inmediatamente. Si se utiliza orina no almacenada, debe diluirse hasta 1:10 con agua. Durante la temporada de lluvias, la orina también puede aplicarse directamente en pequeños hoyos cerca de las plantas; entonces se diluirá de forma natural.

Para la aplicación de la orina en los campos se pueden utilizar equipos sencillos, accionados por tractores, con un tanque y mangueras de arrastre. Son los más adecuados para la aplicación de la orina en pastizales y campos de heno. Los aplicadores de fertilizantes líquidos más complejos, que abren la superficie del suelo con discos, pueden ser utilizados antes de la siembra o mejor para la fertilización lateral de las hileras de plantas en las primeras etapas de crecimiento. Esto permite una aplicación

más eficaz de la orina en los campos, ya que se minimizan las pérdidas de nitrógeno. Los inyectores de fertilizante se utilizan para “inyectar” una cantidad predeterminada de fertilizante líquido desde un tanque de retención al sistema de riego. Esta técnica, también conocida como fertirrigación (véase R.4), es una buena manera de proporcionar un flujo constante y uniforme de nutrientes a las plantas.

Adecuación La aplicación de la orina es especialmente adecuada para las áreas rurales y periurbanas donde los terrenos agrícolas están cerca del punto de recolección de orina. Los cultivos con alta demanda de nitrógeno crecen bien con la fertilización con orina, por ejemplo, maíz, arroz, mijo, sorgo, trigo, zanahorias, col, lechuga, plátanos, papaya y naranjas. Las viviendas pueden utilizar 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 terrenos agrícolas. Sin embargo, el aspecto más importante es que exista una demanda de nutrientes de fertilizantes 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 fuente de contaminación. Otro uso beneficioso de la orina es como aditivo para enriquecer el compost. La orina añadida a materiales ricos en carbono como paja, hojas muertas y tallos de plantas o papel puede equilibrar la relación C:N y mejorar el proceso de compostaje.

Aspectos de salud/aceptación La orina de personas sanas, está prácticamente libre de patógenos. Por lo tanto, la orina supone un riesgo mínimo de infección, especialmente cuando se ha almacenado durante un periodo de tiempo prolongado. Sin embargo, la orina debe manipularse con cuidado y se recomienda el uso de equipo de protección personal (guantes) y el lavado de manos al aplicar la orina. No debe aplicarse a cultivos con menos de un mes de antelación a su cosecha. Este periodo de espera es especialmente importante para los cultivos que se consumen crudos. Debido a la falta de aceptación social, la gente puede tener dificultades para manipular la orina o consumir productos fertilizados con ella. La orina almacenada tiene un fuerte olor y su manipulación puede ser percibida como desagradable u ofensiva. Cuando la orina se diluye y/o se incorpora inmediatamente al suelo, se reduce la molestia del olor. El uso de la orina puede ser menos aceptable en áreas urbanas, incluso si hay jardines cerca de las casas donde la orina puede ser aplicada directamente. Puede haber una mayor aceptación en las zonas rurales donde hay una mayor distancia entre las viviendas y los terrenos de cultivo.

Operación y mantenimiento Cuando se aplica la orina almacenada, hay que tener en cuenta su elevado pH. Dado que la orina contiene más nitrógeno que cualquier otro nutriente, la tasa de aplicación debe ser calculada en base a las recomendaciones de nitrógeno para cada cultivo. Si esta cantidad de orina no aporta suficiente potasio o fósforo, es recomendable añadir compost, minerales u otros fertilizantes. Además de la demanda de nitrógeno, la tasa de aplicación óptima depende de la concentración de nitrógeno del líquido, las condiciones del suelo y la eficiencia del método de aplicación, considerando la tasa de pérdida de amoníaco durante la aplicación. En determinadas condiciones climáticas y de suelo, una aplicación elevada de orina puede contribuir a la salinización del suelo. Como regla general, se puede suponer que 1 m² de tierra de cultivo puede recibir 1,5l de orina por temporada de cultivo (cantidad que corresponde a la producción media diaria de orina de una persona y equivale a una tasa de aplicación 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 m² de tierras de cultivo. Dado que los nutrientes contenidos en la orina están fácilmente disponibles para las plantas, se recomienda aplicarla en más de una ocasión durante la temporada de crecimiento, por ejemplo, después de la germinación y antes del desarrollo de las semillas o los frutos. Esto también reduce el riesgo de lixiviación de nitrógeno en el subsuelo y en las aguas subterráneas. El equipo utilizado para aplicar la orina debe limpiarse después de su uso para evitar el mal funcionamiento o la obstrucción debido a la precipitación de minerales (especialmente fosfatos de calcio y magnesio).

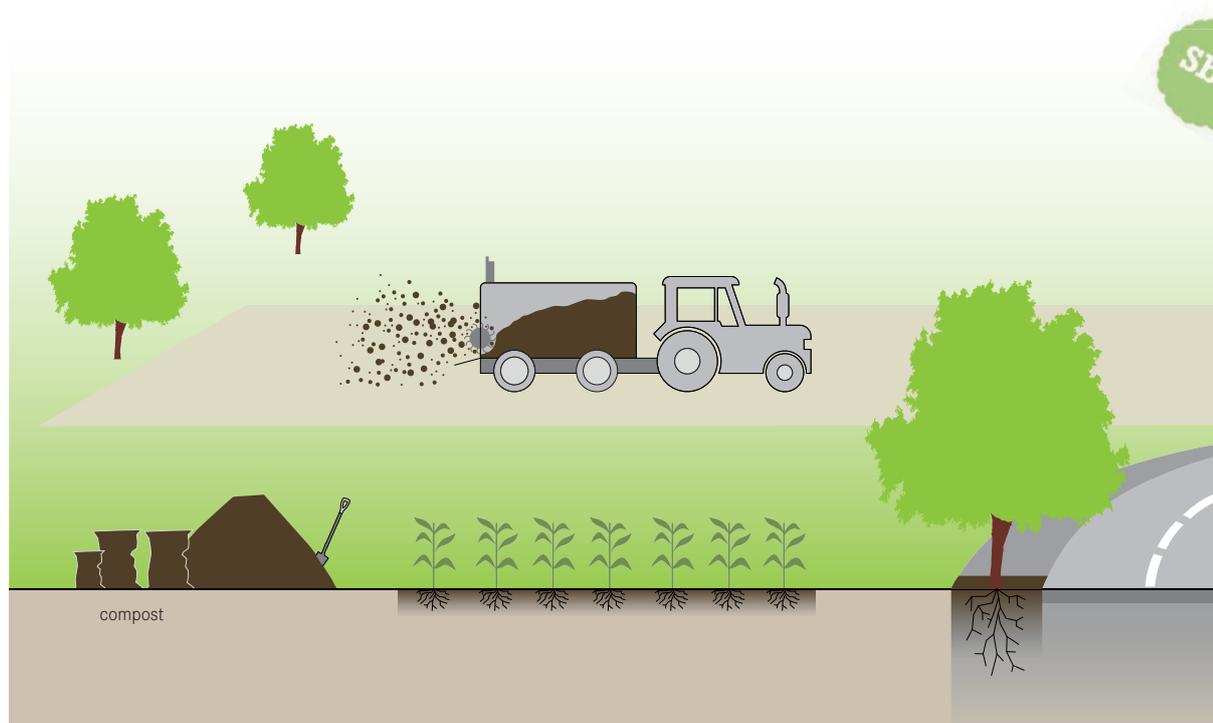
Pros y contras

- + Sustituye a los costosos fertilizantes químicos
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos
- + Bajo costo para la aplicación en el jardín de la casa
- + Cierra en gran medida el ciclo de nutrientes de los alimentos
- La orina es pesada y difícil de transportar
- El olor puede ser ofensivo
- Requiere equipos especiales para aplicaciones de campo a gran escala
- Requiere mano de obra intensiva
- Poca aceptación social en algunas zonas
- Posible pérdida de amoníaco en el aire y riesgos ambientales asociados
- Riesgo de obstrucción de tuberías y equipos

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 251

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas: <input checked="" type="checkbox"/> Compost
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	Salidas: <input checked="" type="checkbox"/> Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



El compost es un material rico en humus producido por la descomposición aerobia controlada de los materiales orgánicos, tal y como se describe en el T.17 co-compostaje. Durante este proceso de descomposición, los materiales orgánicos se calientan hasta 65 °C, lo que mata a la mayoría de los patógenos, y el compost producido puede utilizarse en la agricultura.

El compost es un eficaz acondicionador del suelo que aumenta el contenido de humus de la tierra. Esto mejora:

- la estructura del suelo y, por lo tanto, la aireación y las condiciones de vida de las bacterias en el suelo
- la capacidad de retención de nutrientes y agua y, según la textura y las propiedades del suelo
- tiende a formar complejos orgánico-minerales estables en el suelo.

Aunque el contenido de macronutrientes (N, P, K) es relativamente bajo, la aplicación de compost en el suelo puede mejorar de forma sostenible el suministro de nutrientes a las plantas al fijarlos en formas que están disponibles para las plantas.

Consideraciones de diseño El compost es un producto del co-compostaje de lodos primarios o secundarios procesados y material orgánico. Por lo tanto, debe garantizarse que no contenga agentes patógenos que puedan suponer un peligro durante su manipulación. Un compost suficientemente maduro es de color negro, tiene temperatura ambiente y un olor agradable a humus (olor a tierra de bosque). Si el compost se produce cerca de los lugares de uso o de los campos, puede transportarse a granel. Como producto de uso comercial, debe envasarse en bolsas.

Idoneidad Como acondicionador del suelo, el compost tiene una amplia gama de posibles aplicaciones en la jardinería doméstica, la producción hortícola, la agricultura y las áreas verdes urbanas. Especialmente en suelos con bajo contenido en materia orgánica, la aplicación de compost puede aumentar significativamente la productividad.

Aspectos de salud/aceptación Si tiene un color negro y un olor agradable, se acepta fácilmente. Sin embargo, el hecho de que se produzca a partir de excrementos humanos procesados podría causar

resistencia a su uso. Por ello, un etiquetado e información adecuados, por ejemplo, en las bolsas, deberían informar al usuario sobre su procesamiento y explicar su uso adecuado.

Si el compost está libre de patógenos nocivos, no es necesario ningún cuidado especial para su uso y aplicación. El principal peligro para la salud proviene de los patógenos que permanecen tras un proceso de compostaje incompleto o mal realizado (por ejemplo, con temperaturas demasiado bajas). Por ello, sólo debe utilizarse compost de calidad controlada. Algunos países disponen de normas y estándares que clasifican el compost en bolsas por categorías con más o menos restricciones de manipulación y uso. La calidad del compost también depende en gran medida de los componentes orgánicos originales añadidos a la pila o al contenedor de compostaje. Los contaminantes inorgánicos u orgánicos, por ejemplo, los pesticidas, que no se descomponen completamente o en absoluto, pueden contaminar el compost y, por tanto, el suelo. Al manipular el compost se debe utilizar equipo de protección personal, como guantes y mascarillas, especialmente si la calidad del compost no está totalmente controlada. Esto, junto con una ventilación adecuada, es aún más necesario cuando se trabaja en interiores, por ejemplo, al embolsar el compost.

Al igual que con otros productos del tratamiento de aguas residuales, deben consultarse y seguirse las directrices para un uso seguro (WHO, 2006).

Operación y mantenimiento El compost puede aplicarse a mano en pequeñas cantidades en los jardines domésticos, en cantidades mayores en los cultivos hortícolas o en los hoyos de plantación cuando se plantan árboles (por ejemplo, en la jardinería urbana). La aplicación en el campo debe hacerse mecánicamente con un esparcidor de estiércol. La dosis correcta depende de diversos factores, como el tipo de suelo, el cultivo elegido, la fase de desarrollo de las plantas y, sobre todo, la disponibilidad de compost y los costos. Cuando se aplica en jardines domésticos, una buena regla general es cubrir el suelo con 2-5 cm de compost y trabajarlo superficialmente. En horticultura, el uso del compost va desde su aplicación

como acondicionador del suelo hasta su uso como sustrato de plantación. Las recomendaciones para las tasas de aplicación de compost en el campo varían mucho, pero entre 9 y 20 t/ha al año es un margen adecuado para una amplia gama de condiciones de suelo y cultivos (para más información, véase el anexo: US Compost Council, 2001 y Roman et al., 2013). El compost destinado a la venta se embolsa y se etiqueta como compost o acondicionador orgánico del suelo. Para obtener un compost de alta calidad comercialmente viable, el proceso de compostaje debe ser cuidadosamente monitoreado y controlado con el objetivo específico de reducir los patógenos. El compost terminado debe ser cribado y almacenado en condiciones adecuadas para evitar la reinfeción con patógenos u hongos.

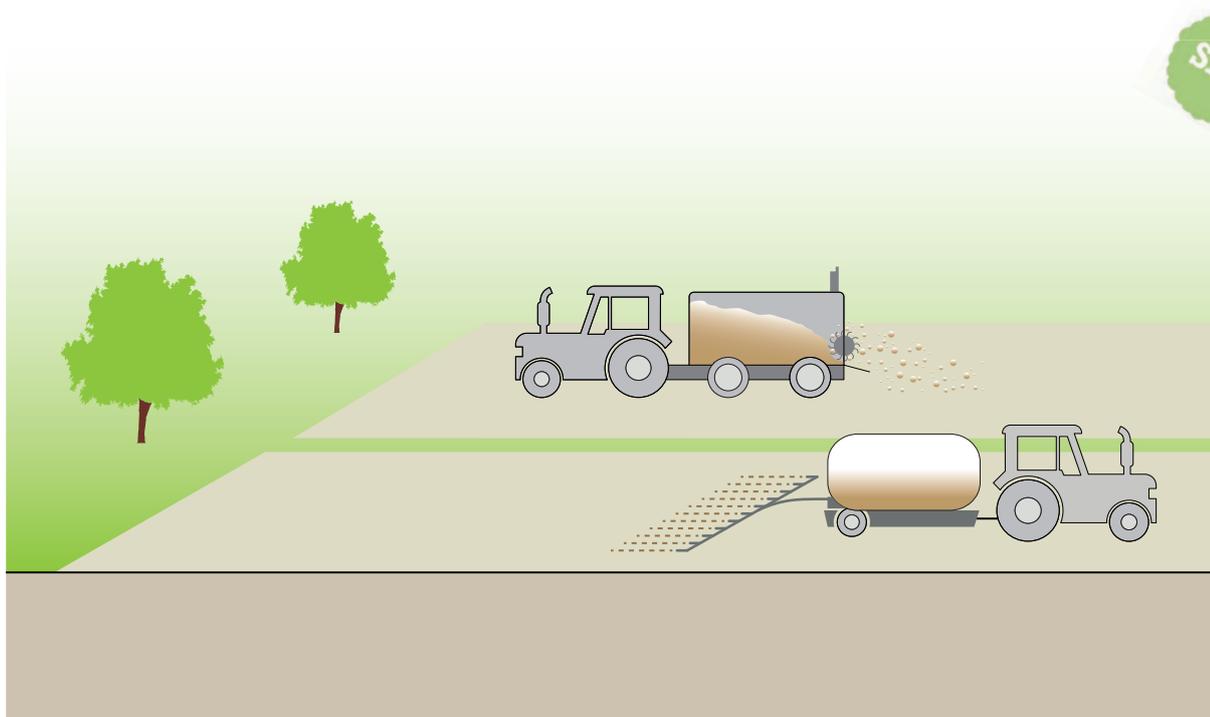
Pros y contras

- + Mejora la fertilidad del suelo para una producción agrícola u hortícola sostenible
- + Cierra el ciclo alimentario (de la granja a la mesa - y de vuelta a la granja)
- + Mejorar la estructura del suelo y, por tanto, la circulación del aire
- + Mejora la capacidad de retención de agua del suelo
- + Mejora la capacidad del suelo para retener los nutrientes disponibles para las plantas y, por tanto, la eficacia de los fertilizantes
- + Bajo riesgo de transmisión de patógenos cuando se controla adecuadamente
- + Costos relativamente bajos
- Necesita un control de los agentes patógenos mediante el monitoreo del tratamiento
- Necesita medidas de protección (por ejemplo, equipo de protección personal) para la manipulación
- La aceptación social del compost de residuos humanos puede ser limitada
- El compost es voluminoso y esto dificulta y encarece su transporte a grandes distancias

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 251

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Lodos
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda	Salidas:  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	



Dependiendo del tipo de tratamiento y de la calidad, los lodos digeridos o estabilizados pueden aplicarse a terrenos públicos o privados para su acondicionamiento o para su uso como abono y acondicionador del suelo en la agricultura.

Los lodos que han sido tratados (por ejemplo, en lechos de secado con plantas) tienen una amplia gama de opciones de reúso y pueden utilizarse en la agricultura, la jardinería doméstica, la silvicultura, el cultivo de césped, el paisajismo, los parques, los campos de golf, la recuperación de minas, como cubierta de vertederos o para el control de la erosión. Los lodos pueden mejorar el contenido de materia orgánica del suelo y sirven de abono. Aunque el contenido de nutrientes en los lodos es bajo en comparación con los fertilizantes comerciales (especialmente en lo que respecta a los macronutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio), puede cubrir una parte de la demanda de nutrientes de las plantas. Además, los lodos tratados (es decir, digeridos o estabilizados) aplicados al suelo tienen la capacidad de aumentar la aireación del mismo, así como la capacidad de retención de nutrientes y agua. En el suelo, libera de forma lenta y constante los nutrientes para las plantas.

Consideraciones de diseño Los lodos sólidos pueden aplicarse esparciéndolos sobre la superficie del suelo. Dependiendo del contenido de materia seca, se pueden utilizar esparcidores de estiércol convencionales, camiones cisterna o vehículos especialmente diseñados. Los lodos líquidos (por ejemplo, los procedentes de reactores anaerobios) pueden rociarse o inyectarse en el suelo. El cálculo de las tasas de aplicación de los lodos debe tener en cuenta el tipo de suelo, las necesidades del cultivo, el tiempo de aplicación y el contenido de nutrientes de los lodos. Otros factores que deben considerarse son la presencia potencial de patógenos y contaminantes. Después de la aplicación de los lodos al principio de la temporada de cultivo, el suelo debe labrarse superficialmente para evitar que los lodos se sequen en la superficie. Esto provocaría pérdidas de nutrientes y puede limitar la capacidad de infiltración de aire y agua del suelo. Unas tasas elevadas de lodos en una sola aplicación pueden dar lugar a un exceso de fertilización y a una posible lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas. La tasa de lodos y el tiempo de aplicación deben ser controlados cuidadosamente para evitar la contaminación orgánica, por ejemplo, las fuertes lluvias directamente después de la aplicación de lodos sin cobertura del suelo (labranza) pueden dar lugar a la escorrentía superficial.

Idoneidad Dependiendo de la fuente, los lodos pueden servir como un valioso acondicionador del suelo y como fuente de nutrientes. Los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales domésticas presentan un bajo riesgo como fuente de contaminación con metales pesados. Los lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala tienen más probabilidades de estar contaminados, ya que pueden recibir productos químicos industriales y domésticos, así como la escorrentía de las aguas superficiales, que pueden contener hidrocarburos y metales pesados. Si la calidad de los lodos hace posible su reuso, la aplicación de los lodos en la tierra suele ser una opción más rentable y sostenible que su disposición en la superficie.

Aspectos de salud/aceptación La aceptación del uso de los lodos puede ser baja y constituir una barrera importante para su reuso. Sin embargo, aunque no se acepte su uso en la agricultura, la amplia gama de otras opciones de uso ofrece alternativas a nivel local y en el área circundante (por ejemplo, en el paisajismo) o en la industria local (por ejemplo, como fuente de energía). Dependiendo de la fuente de los lodos y de la tecnología de tratamiento, los lodos deben tratarse a un nivel en el que el bajo contenido de patógenos permita una manipulación segura y no genere molestias de olor. Es necesario seguir las directrices para una manipulación y aplicación seguras, incluidas las medidas de seguridad para la recolección y el consumo seguro de los productos agrícolas. Las directrices de la OMS sobre el uso de excrementos en la agricultura deben consultarse para obtener información detallada (WHO, 2006).

Operación y mantenimiento La limpieza del esparcidor y del resto del equipo después de cada uso es una tarea importante del funcionamiento. El equipo motorizado debe recibir un mantenimiento adecuado para garantizar su utilidad. La cantidad y el ritmo de aplicación de los lodos debe controlarse cuidadosamente para evitar la contaminación orgánica. Los trabajadores deben utilizar equipos de protección personal, como guantes y mascarillas, y llevar ropa de protección adecuada, como botas de goma.

Pros y contras

- + Aporta materia orgánica y, en cierta medida, nutrientes que sustituyen al abono químico
- + Mejora la aireación y la capacidad de retención de agua del suelo
- + Puede utilizarse para preparar los suelos para la reforestación
- + Puede reducir la erosión del suelo
- + Dependiendo del transporte necesario, puede ser un acondicionador de suelos de bajo costo
- + Tiene una amplia gama de opciones de reutilización
- Requiere el control del contenido de patógenos potenciales
- Requiere medidas de protección (por ejemplo, equipo de protección personal) para su manipulación
- La aceptación de la reutilización puede ser baja
- Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas si se aplica en dosis elevadas
- Riesgo de acumulación de metales pesados en el suelo cuando los lodos están contaminados
- Puede suponer un riesgo para la salud pública en caso de epidemia

Referencias y lecturas adicionales

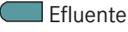
se encuentran en la página 252

Nivel de aplicación:

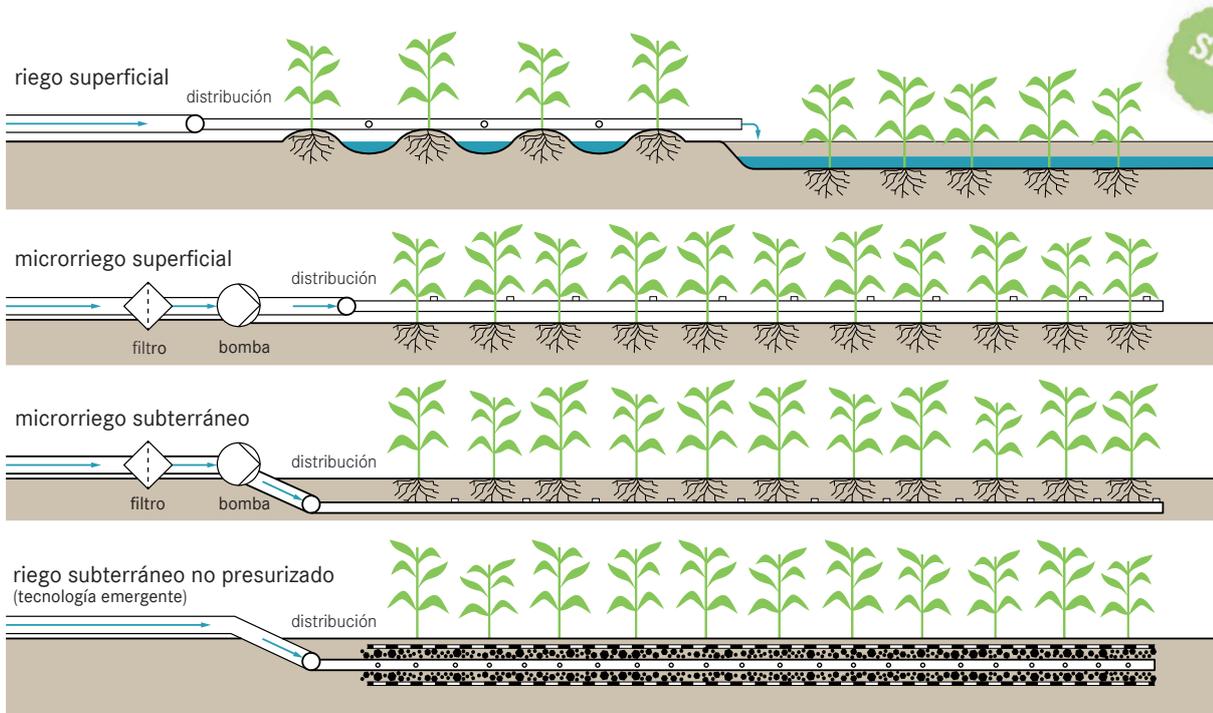
- ★★ Vivienda
- ★★ Vecindario
- ★★ Ciudad

Nivel de manejo:

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

Entradas:  Efluente  Aguas pluviales
(+  Orina almacenada)

Salidas:  Biomasa



El efluente es el líquido que sale de una tecnología, normalmente después de que las aguas negras, las aguas residuales o los lodos hayan sido sometidos a una separación de sólidos o a un tratamiento posterior. Dependiendo del tipo de tratamiento, el efluente puede cumplir con las normas de reutilización o puede requerir un tratamiento adicional. Para la aplicación en la agricultura, la horticultura o la jardinería urbana, el efluente debe haber sido sometido a un tratamiento secundario (es decir, un tratamiento físico y biológico, véase el Glosario) para evitar los peligros medioambientales, la contaminación de los cultivos y limitar los riesgos para la salud de los operarios. Todavía puede ser necesario un tratamiento adicional. Las excepciones para la reutilización de efluentes procedentes de tecnologías de tratamiento *in situ* (por ejemplo, la aplicación de efluentes de tanque séptico en jardines domésticos) requieren medidas de seguridad especiales (véase WHO, 2006).

La reutilización de los efluentes mediante el riego puede sustituir el uso de agua dulce permitiendo el riego de los cultivos incluso cuando no se dispone de otras fuentes de agua. El reciclaje de nutrientes es otra razón importante

para la aplicación de efluentes a los cultivos. En lugar de separar los nutrientes en procesos (a menudo costosos) para cumplir con las normas cada vez más estrictas de vertido en los cuerpos de agua, pueden utilizarse directamente para el crecimiento de las plantas, cerrando así los ciclos de los nutrientes. Los efluentes de las plantas de tratamiento (semi)centralizadas de aguas residuales pueden aplicarse a los cultivos como única fuente o como complemento del agua de riego de otras fuentes.

La forma y la técnica de riego plantean diferentes exigencias a la calidad y características del efluente tratado y, por tanto, al proceso de tratamiento y sus resultados. Por lo tanto, es esencial planificar el sistema de saneamiento desde el final e involucrar al usuario agrícola u hortícola del efluente tratado en el proceso de planificación desde el principio. Esto puede incluir la selección de un sitio apropiado para la planta de tratamiento, como se muestra en el estudio de caso 6, donde los agricultores ofrecieron un sitio cercano a sus campos.

Consideraciones de diseño Existen diferentes técnicas de riego, que pueden dividirse en sistemas de riego superficial y subterráneo. Dentro de estos sistemas, cabe distinguir entre las técnicas que distribuyen el agua en

flujo abierto y sin presión, por ejemplo, a través de surcos, tuberías o inundación de los campos. Otras técnicas de riego, como los aspersores o el riego por goteo, requieren que el agua se introduzca en las tuberías a presión mediante bombas o presión por gravedad para distribuirla a los campos. Una distinción similar se aplica a los sistemas de riego subterráneo.

Cada técnica implica un contacto más o menos directo del efluente con los trabajadores de los campos, los cultivos y los productos que se cosechan. Por lo tanto, cada técnica conlleva unos requisitos de calidad específicos en cuanto a la eliminación de patógenos y, por lo tanto, a la intensidad del tratamiento antes del riego. En general, las técnicas de riego subterráneo minimizan estos contactos (excepto en el caso de los cultivos de raíces), pero son más complejas y difíciles de manejar.

El riego por inundación y por surcos es una técnica sencilla que requiere pendiente para distribuir el agua en el campo. La instalación suele ser de bajo costo, pero el mantenimiento y el funcionamiento de estas técnicas requieren un uso intensivo de mano de obra, implican un intenso contacto entre el efluente distribuido y el trabajador, así como con los cultivos. La distribución es desigual y poco eficiente, lo que hace que se infiltre más agua y se filtre a las capas más profundas del suelo.

El riego por aspersión no es recomendado para la distribución del efluente, para evitar una alta evaporación y la contaminación del aire y de las superficies de las plantas con patógenos potencialmente remanentes después del tratamiento.

Las técnicas de **microrriego**, como los microaspersores/burbujeador y el riego por goteo, son muy eficaces para una distribución uniforme, y limitan el contacto con los trabajadores y los cultivos, pero son propensas a la obstrucción. Por ello, el efluente debe filtrarse antes de su uso para reducir los sólidos en suspensión. El microrriego requiere un sistema de tuberías a presión. La instalación y el mantenimiento del sistema son costosos, pero su funcionamiento requiere menos mano de obra.

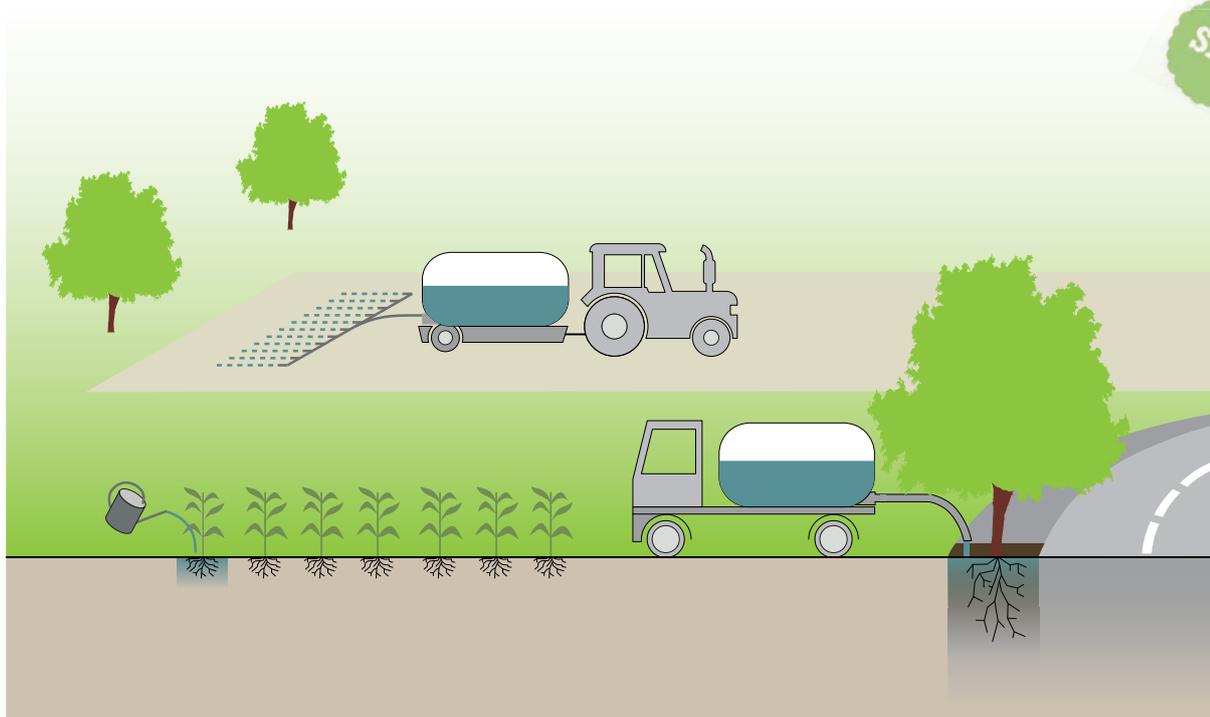
Las técnicas de **microrriego subterráneo** reducen aún más el contacto con los trabajadores y los cultivos, pero implican mayores costos de inversión y el mantenimiento es más difícil porque el sistema de tuberías es subterráneo. Permiten una distribución muy eficaz y evitan la evaporación. Al igual que con otras técnicas de microrriego, el efluente debe ser filtrado previamente.

Se están desarrollando técnicas de **riego subterráneo no presurizado** que permiten regar con efluentes para reducir las necesidades de operación y mantenimiento y evitar la distribución en superficie, por ejemplo, en zonas urbanas y periurbanas para la jardinería urbana. Las tuberías de 100 mm se colocan niveladas en zanjas en un lecho de grava cubierto por geotextiles y ventilado por arriba. Al tratarse de una tecnología emergente, aún está en desarrollo y la mayor parte de la documentación es literatura gris. Las técnicas de riego con una distribución menos precisa y una mayor infiltración en el suelo también funcionan en parte como recarga de las aguas subterráneas. Esto se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema (véase R.9).

Para la distribución del efluente se **utilizan otras técnicas de aplicación** (véase la ilustración arriba). Para la aplicación con tractor se utilizan equipos con un tanque y mangueras de arrastre (por ejemplo, en pastizales) o aplicadores de fertilizantes líquidos más complejos (por ejemplo, para cultivos de campo). Debido al elevado costo de funcionamiento, estas técnicas sólo son adecuadas si no pueden utilizarse otras formas de riego o si la aplicación de efluente puede combinarse con la aplicación de un fertilizante líquido.

El uso de camiones cisterna para regar los espacios verdes urbanos es una práctica habitual. Para evitar los riesgos para la salud pública derivados de los agentes patógenos, el efluente debe ser sometido a un tratamiento posterior para cumplir las normas exigidas. La aplicación manual del efluente sólo es una opción si la instalación de tratamiento está situada cerca del lugar de aplicación, por ejemplo, el jardín residencial con una instalación de tratamiento *in situ*. Cuando se aplica el efluente que puede tener concentraciones altas de patógenos, es necesario seleccionar las especies de plantas (por ejemplo, plantas ornamentales) y el tiempo de aplicación respectivo, utilizar equipo de protección personal, cubrir el lugar de aplicación con tierra y seguir otras medidas de seguridad (véase las directrices de la OMS, en WHO, 2006).

La reutilización industrial de los efluentes incluye la producción de hormigón, la construcción de carreteras y otros procesos industriales que consumen agua, por ejemplo, la refrigeración. Nuevamente, la concentración de patógenos en el efluente debe ser controlada y deben seguirse las medidas de seguridad adecuadas durante la aplicación, por ejemplo, cuando se pulveriza el efluente durante la construcción de carreteras, los trabajadores deben mantener la distancia con el esparcidor y utilizar equipos de protección personal.



Idoneidad Para elaborar un plan de riego para el reúso de efluentes en la agricultura, hay que tener en cuenta varios factores:

- Selección de cultivos y sus requisitos
- Condiciones climáticas con precipitaciones, temperatura y duración de la luz solar
- Condiciones del suelo: textura del suelo, tasa de infiltración y capacidad de retención de agua
- Condiciones topográficas
- Nivel del agua subterránea
- La mano de obra y el capital disponibles
- Requisitos legales

La técnica de riego adecuada debe seleccionarse teniendo en cuenta estos factores, así como la experiencia de los agricultores. Otros factores decisivos son la cantidad y la calidad del efluente disponible.

Mientras que la demanda estacional de agua de los cultivos seleccionados varía en función de los factores mencionados, la cantidad diaria disponible de efluentes permanece relativamente estable. Puede haber meses, por ejemplo, en la temporada de lluvias, en los que el riego no sea práctico. Por lo tanto, el reúso de efluentes para el riego debe combinarse con otros usos, por ejemplo, la

descarga a aguas superficiales o la recarga de acuíferos.

El riego continuo con efluentes puede conducir a la acumulación de sales en el suelo, especialmente cuando las tasas de evaporación son altas. El uso de orina junto con aguas residuales tratadas para el riego (fertirrigación) puede aumentar el efecto fertilizante, pero implica un riesgo aún mayor de salinización del suelo (véase R. 1).

Aspectos de salud/aceptación Cuando el agua es escasa, la aceptación del uso de efluentes para el riego suele ser alta. Un tratamiento secundario adecuado es un requisito previo para su uso en el riego de cultivos, y la reducción y el control adecuados de patógenos deben preceder a cualquier programa de riego, para limitar los riesgos para la salud de las personas que entran en contacto con las aguas residuales tratadas y los productos de los cultivos. Cada técnica de riego da lugar a una forma e intensidad de contacto específica con los trabajadores del campo, por lo que los requisitos para su protección son diferentes. Mientras que los equipos de protección personal, como botas y guantes, e incluso máscaras faciales, son necesarios para los trabajadores que distribuyen el efluente en los sistemas de riego por inundación y por surcos, esto sólo es necesario para las tareas de mantenimiento

en los sistemas de microrriego.

Es poco probable que la aplicación de efluentes a plantas que no se consumen directamente, como las fibras (por ejemplo, el algodón) o las plantas ornamentales, suponga un riesgo para la salud. Los cultivos forrajeros, como la alfalfa, el maíz forrajero o las praderas, así como los cultivos que se someten a un proceso de fermentación antes de su consumo (por ejemplo, el tabaco o el té) deben estar sujetos a requisitos y restricciones de reducción de patógenos más estrictos que los del primer grupo, por ejemplo, la interrupción del riego con efluentes un determinado tiempo antes de la cosecha. El riego de las plantas para el consumo humano debe seleccionarse preferentemente cuando el producto crezca a cierta distancia del suelo, como en el caso de los árboles frutales (por ejemplo, plátanos, mangos, naranjos o papayas).

Algunas hortalizas pueden ser regadas con efluentes, especialmente con técnicas de microrriego que evitan el contacto directo entre el efluente y el producto (por ejemplo, tomates, pimientos, berenjenas). En este caso, se requieren precauciones especiales, como limitar el tiempo de aplicación, el tratamiento posterior a la cosecha (por ejemplo, el lavado) y el calentamiento (cocción) antes del consumo. Los cultivos hortícolas que están en contacto directo con el suelo, especialmente si se consumen crudos (por ejemplo, la lechuga), no deben regarse con efluentes, aunque estos productos se laven antes de su consumo, a menos que pueda garantizarse que el efluente está completamente libre de patógenos.

Para el uso seguro de los efluentes en la horticultura o la agricultura y el consumo seguro de los productos alimenticios, se requieren medidas de protección adicionales en función del tipo de cultivo, la forma, el tipo y el momento de la cosecha, el tratamiento posterior a la cosecha y los hábitos de consumo. Las directrices de la OMS sobre el uso de aguas residuales en la agricultura deben consultarse para obtener información detallada y orientaciones específicas (véase WHO, 2006).

Operación y mantenimiento Cada técnica de aplicación/irrigación tiene sus requisitos específicos de funcionamiento y mantenimiento. Los sistemas de riego por surcos requieren la limpieza periódica de los canales de distribución y la restauración de los surcos. Los sistemas de microrriego requieren una limpieza y un mantenimiento regulares del filtro. El sistema debe ser supervisado constantemente para detectar fugas de agua en el sistema de tuberías y lavarse con frecuencia con agua limpia para evitar el crecimiento de biofilm y la obstrucción de los goteros o microaspersores. Los sistemas de riego subterráneo no presurizado deben

tener cámaras de control al menos cada 30 m para poder controlar el flujo de agua y limpiar las tuberías con un cepillo de alambre cuando sea necesario. Las técnicas de aplicación motorizada requieren la limpieza del equipo de aplicación después de su uso y el mantenimiento regular de los camiones. Según la técnica de aplicación, los trabajadores deben llevar ropa de protección adecuada.

Pros y contras

- + Cierra el ciclo del agua y de los nutrientes
- + Sustituye el uso de aguas superficiales y subterráneas y contribuye así a reducir el agotamiento de las aguas subterráneas y a mejorar la disponibilidad de agua potable
- + Reduce o evita la compra de fertilizantes, con lo que se reducen los costos y las emisiones de CO₂
- + Potencialmente mayores rendimientos
- + Aporta materia orgánica al suelo
- + Potencia la de creación de empleo y generación de ingresos a nivel local
- + Bajo costo de capital para el riego por inundación y por surcos
- + Alta eficacia de distribución de las técnicas de microrriego, requisitos de operación y mantenimiento de bajos a moderados
- Escasa eficacia de la distribución y elevados requisitos de operación y mantenimiento para el riego por inundación y por surcos
- Alto costo de capital para las técnicas de microrriego, requieren un diseño e instalación por parte de expertos, no todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente
- Los sistemas de microrriego son muy susceptibles a las obstrucciones, por lo que el agua debe estar lo más libre posible de sólidos en suspensión
- Riesgo de transmisión de patógenos en caso de tratamiento y aplicación inadecuados de las aguas residuales
- La aceptación puede ser baja cuando existen barreras sociales contra el uso de aguas residuales tratadas procedentes de excrementos humanos
- Potencial salinización del suelo si las condiciones del suelo y ambientales son propensas a la acumulación de sales y el riego no se planifica y programa adecuadamente
- Posible contaminación por eutrofización de las aguas superficiales cuando las aguas residuales tratadas se aplican en cantidades excesivas

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 252

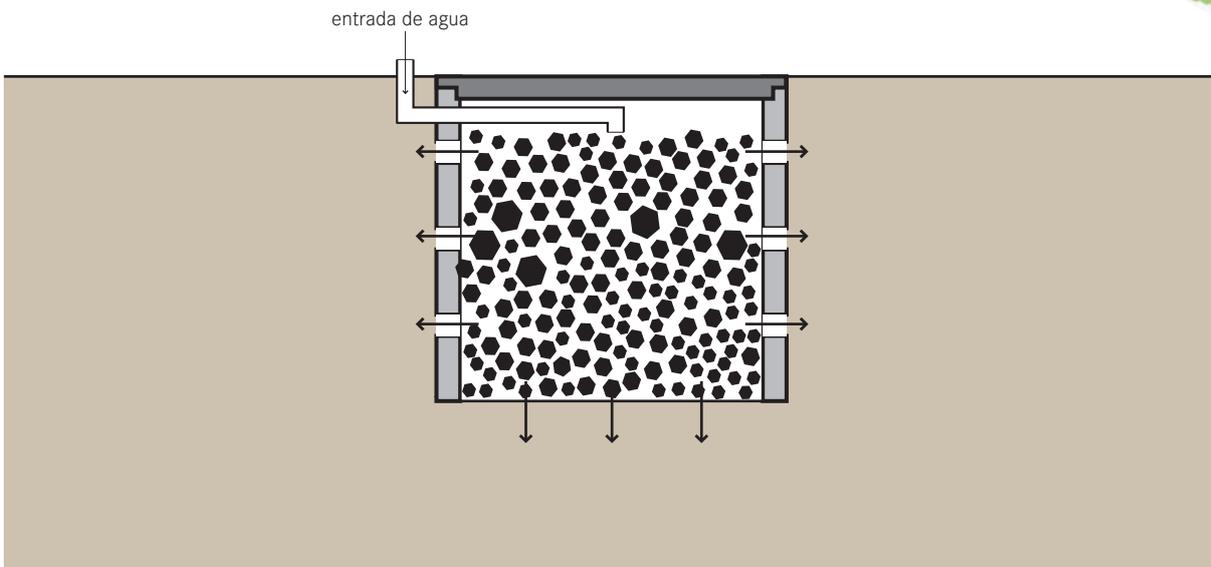
Nivel de aplicación:

- ** Vivienda
 * Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- ** Vivienda
 ** Compartido
 Público

Entradas: Efluente Aguas grises Orina
 Orina almacenada Agua de limpieza anal



El pozo de absorción, también conocido como sumidero o pozo de infiltración, es una cámara cubierta de paredes porosas que permite que el agua se infiltre lentamente en el suelo. El efluente sedimentado de una tecnología con sistema de recolección y almacenamiento/tratamiento o tratamiento (semi)centralizado es descargado en una cámara subterránea, desde la cual se infiltra en el suelo que lo rodea.

A medida que las aguas residuales (aguas grises o aguas negras después del tratamiento primario) se filtran desde el pozo de absorción a través del suelo, las partículas pequeñas son filtradas por la matriz de tierra, y el material orgánico es digerido por microorganismos. Por lo tanto, 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 tratadas.

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. Además, si la densidad de los pozos de absorción es elevada, también aumenta el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

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 está bajo tierra y, por lo tanto, los humanos y los animales no deberían 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 bien diseñado debería 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 del interior del pozo puede excavar, y este puede ser rellenado o remplazado. Para este mantenimiento se requiere equipo de protección personal y los lodos retirados deben eliminarse de forma segura.

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

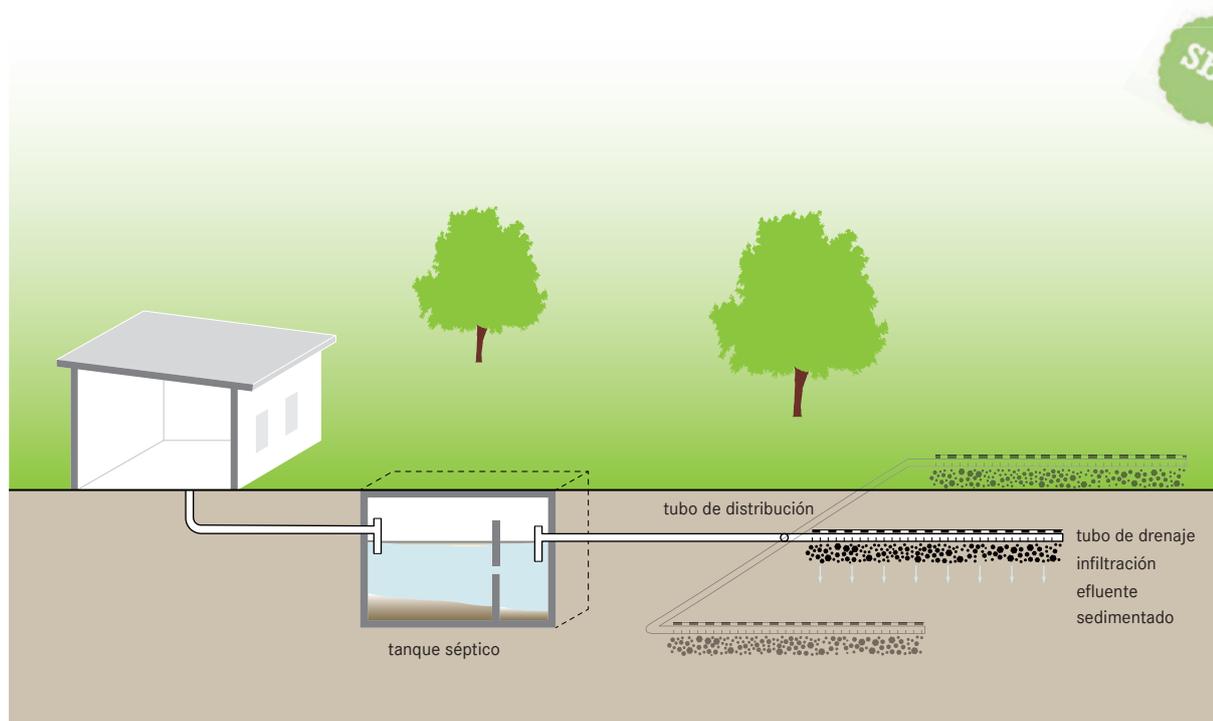
se encuentran en la página 252

Nivel de aplicación:

- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas: Efluente

SbN

El lecho de infiltración o de drenaje es una red de tuberías perforadas que se instalan en zanjas subterráneas llenas de grava, con el fin de infiltrar el efluente de una tecnología basada en agua con sistema de tratamiento (semi)centralizado o de recolección y almacenamiento/tratamiento.

El efluente ya sedimentado se alimenta en un sistema de tuberías (caja de distribución y varias zanjas paralelas) 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 aerobias 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. El fondo se rellena con unos 15 cm de piedra limpia y se pone un tubo de distribución perforado encima. Luego, se coloca más piedra para cubrir la tubería. Encima de la capa de piedras se pone tela geotextil, para evitar que las partí-

culas 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. La tubería debe colocarse por lo menos a 15 cm debajo de la superficie para evitar que el efluente salga a la superficie. 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, tanque séptico, S.3) 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 un suelo no saturado, con buena capacidad de absorción para infiltrar 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

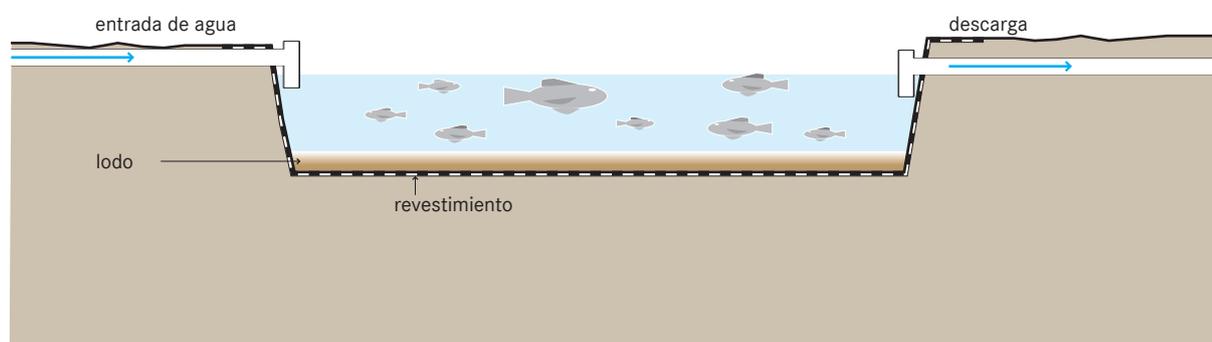
- + Se puede usar para tratamiento combinado y disposición final del efluente
- + Tiene una larga vida útil (dependiendo de las condiciones)
- + Los requisitos para su mantenimiento son pocos si opera sin equipo mecánico
- + Costo de inversión relativamente bajos; bajos costos de operación
- Requiere 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

se encuentran en la página 253

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Efluente
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Vivienda	Salidas:  Biomasa
<input checked="" type="checkbox"/> Vecindario	<input checked="" type="checkbox"/> Compartido	
<input checked="" type="checkbox"/> Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/> Público	

SbN



Los peces pueden cultivarse en lagunas que reciben efluentes o lodos, donde pueden 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 lagunas aerobias (T.5 o T.6).

Los peces introducidos en lagunas aerobias pueden reducir eficazmente las algas y ayudar a controlar la población de mosquitos. Es posible combinar plantas flotantes (R.8) 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 de peces/ha. Si los peces no son aceptados 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, etc.). Cuando se introducen nutrientes en forma de efluente o lodo es importante limitar las adiciones para mantener las condiciones aerobias. La DBO no debe exceder $1 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 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, sabalote 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, deberían 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 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) desenlodarla y (b) dejarla 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 de protección adecuada.

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

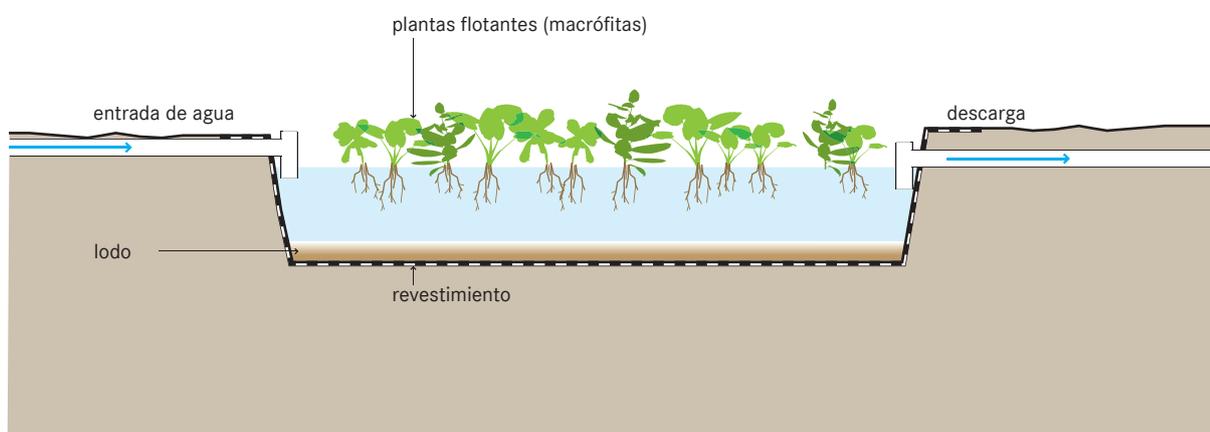
se encuentran en la página 253

Nivel de aplicación:

- Vivienda
 Vecindario
 Ciudad

Nivel de manejo:

- Vivienda
 Compartido
 Público

Entradas: Efluente**Salidas:** Biomasa

La laguna de plantas flotantes es una laguna de maduración modificada con plantas naturalmente flotantes (macrófitas). Algunas plantas, como los jacintos o las lentejas de agua, flotan en la superficie mientras sus raíces cuelgan bajo la superficie para absorber nutrientes y filtrar el agua que fluye cerca.

Esta tecnología parece similar al humedal flotante (T.10), que funciona con macrófitas que flotan artificialmente. La diferencia esencial es la menor producción de oxígeno de la laguna de plantas flotantes - que no es su prioridad principal, ya que el tratamiento de las aguas residuales ya se ha realizado.

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 compuestos orgánicos que fluyen con el agua.

La lenteja de agua es una planta con alto contenido de proteína y de rápido crecimiento que puede usarse fresca o seca como alimento para peces y 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 de las características de las aguas residuales. Para proporcionar oxígeno adicional a una tecnología con plantas flotantes, el agua se puede airear mecánicamente, pero el costo aumenta por la demanda de energía y maquinaria. Las lagunas aireadas pueden soportar mayores cargas y se pueden construir con menores dimensiones. 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 desenlodado 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

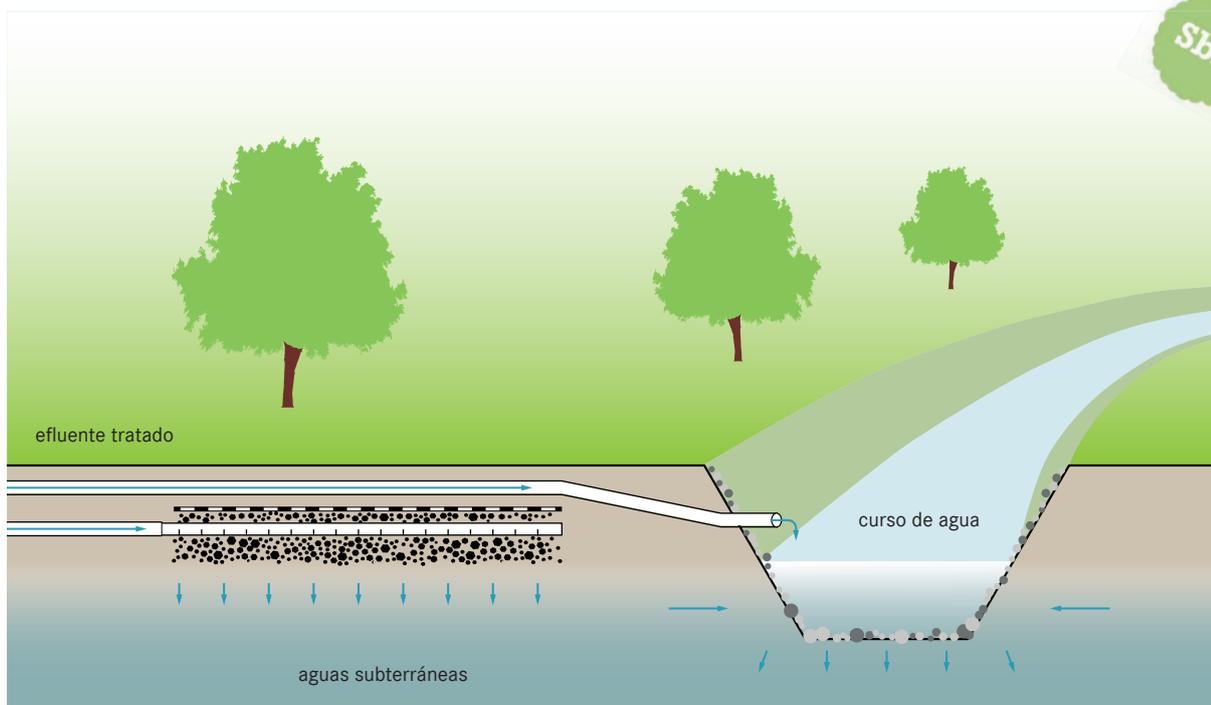
se encuentran en la página 253

Nivel de aplicación:

- ** Vivienda
- ** Vecindario
- ** Ciudad

Nivel de manejo:

- ** Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Efluente Aguas pluviales


SBN

Los efluentes y/o las aguas pluviales tratadas y de calidad garantizada se pueden descargar en cuerpos de agua receptores (como ríos, lagos, etc.) o directamente en el suelo para recargar los acuíferos. Ambos pueden ser una parte importante para completar el ciclo del agua. Si no se monitorean y gestionan bien, suponen graves riesgos y peligros de contaminación que pueden producir efectos contrarios, reduciendo los recursos de agua potable disponibles y acelerando la inseguridad hídrica. Ambas tecnologías tienen un papel importante como complemento de otras tecnologías de reúso, como el riego, que puede limitarse a determinados periodos del año.

La descarga en cuerpos de agua abiertos también afecta al flujo de aguas subterráneas y la calidad del agua. El agua de río o lago mezclada con el efluente tratado en bajas concentraciones se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos. Dado que los sistemas de filtración ribereña se utilizan normalmente para la producción de agua potable, el control de la calidad y la cantidad del efluente descargado es crucial para evitar la contaminación no sólo de las aguas superficiales sino también de las aguas subterráneas. Si el efluente se descarga en el mismo cuerpo de agua en va-

rios puntos, se requiere un control aún más estricto de los parámetros de calidad del efluente. Los efluentes tratados también pueden infiltrarse en el suelo mediante sistemas de infiltración subterránea para recarga de acuíferos. El suelo actúa como un medio filtrante biológicamente activo, en el que juegan un papel importante una serie de factores como la estructura del suelo, la tasa de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, la actividad biológica y la profundidad del acuífero. 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 puede ser un filtro muy efectivo en un sitio durante ciertos periodos del año, puede no evitar la contaminación, especialmente cuando el nivel del agua subterránea cambia durante el año. Por lo tanto, la recarga de acuíferos no debe ser vista ni calculada como un método de tratamiento. Una vez que un acuífero está contaminado, es casi imposible recuperarlo.

Consideraciones sobre el diseño Es necesario garantizar que no se supere la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor; es decir, que el cuerpo receptor pueda aceptar la cantidad de nutrientes sin verse

sobrecargado. Las elevadas concentraciones de nutrientes en las aguas residuales pueden conducir a la eutrofización del río o lago, causada por el crecimiento exponencial de algas y plantas acuáticas y su posterior descomposición, consumiendo todo el oxígeno disponible. Esto destruye toda la vida dependiente del oxígeno en los cuerpos de agua. Los parámetros como turbidez, temperatura, sólidos suspendidos, DBO, nitrógeno y fósforo (entre otros) deben monitorearse y controlarse cuidadosamente antes de liberar cualquier efluente a un cuerpo natural. La recarga de acuíferos por infiltración subterránea se practica con éxito con tuberías de drenaje colocadas en lechos de grava. Por encima del lecho de grava se coloca un geotextil para evitar la infiltración del suelo. La calidad del agua extraída de un acuífero recargado se relaciona con la calidad del efluente tratado introducido, el método de recarga, las características del acuífero, el tiempo de residencia, la cantidad de mezcla con otras aguas y el historial del sistema. En la parte 3 se tratan más aspectos relativos a la gestión integrada de las aguas subterráneas y el saneamiento y la gestión de la recarga de acuíferos.

Adecuación La descarga a un cuerpo de agua superficial o a un acuífero dependerá de los parámetros de calidad del efluente, de las condiciones ambientales locales y de las regulaciones legales que apliquen. Estas regulaciones pueden determinar la calidad requerida del efluente, el volumen o el caudal permitido para su descarga, así como el punto y la forma de descarga. 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 extracción de agua más cercano. Del mismo modo, la recarga de acuíferos es más apropiada para las zonas con riesgo de intrusión de agua salada o acuíferos que tienen un tiempo de retención prolongado.

Aspectos de salud/aceptación La descarga de aguas residuales tratadas en aguas superficiales está sujeta a diversas restricciones, principalmente legales, pero también las asociadas al uso de las aguas. Por lo general, no se permite la descarga en aguas que se usan directamente para la producción de agua potable. Para evitar riesgos para la salud debido a la contaminación por patógenos de los cuerpos de agua superficiales, la descarga de efluentes sólo debe practicarse cuando las concentraciones de patógenos puedan controlarse regularmente. Para áreas especialmente sensibles, puede ser necesaria una tecnología de postratamiento (p. ej., radiación UV, véase p. 116) para cumplir los límites microbiológicos. El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por nitrógeno (N) requiere atención especial, cuando se utiliza

como fuente de agua potable. En forma de nitrato (NO_3) supone un peligro para la salud (OMS: $\text{NO}_3 \leq 50$ mg/l). La separación del nitrógeno del efluente requiere procesos de tratamiento terciario que son complicados y costosos. Por lo tanto, es crucial controlar las concentraciones de N. Generalmente los cationes (Mg_2^+ , K^+ , NH_4^+) y la materia orgánica serán retenidos en un suelo con mayor contenido de cal y arcilla, 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, aguas abajo, o 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 realizar una evaluación de riesgos.

Operación y mantenimiento El monitoreo y la toma de muestras periódicas son importantes para garantizar el cumplimiento de las regulaciones y de los requerimientos de salud pública. En cuanto a su capacidad de infiltración, no suele influir la descarga de efluentes en lagos o cauces de ríos. Sin embargo, los sistemas de infiltración subterráneos deben ser cuidadosamente monitoreados para evitar que las tasas de infiltración disminuyan debido a la obstrucción de la estructura del suelo y que los sistemas se vuelvan cada vez más inutilizables. La obstrucción (física, química y/o microbiológica) de las superficies de infiltración/percolación, causada en particular por la infiltración de efluentes de mala calidad, puede reducir drásticamente las tasas de infiltración y, por lo tanto, el volumen de efluentes que puede utilizarse para la recarga. Este es también el principal problema de mantenimiento a largo plazo. Las medidas para reducir la obstrucción mediante el pretratamiento y el mantenimiento de los sistemas están bien documentadas.

Pros y contras

- + Contribución al equilibrio de la extracción y regeneración de aguas subterráneas
- + Puede aumentar la productividad de los cuerpos de agua al mantener niveles constantes
- + Posibilidad de estabilizar o refrescar las aguas subterráneas salobres o de salinidad creciente.
- La descarga de nutrientes y microcontaminantes puede afectar a los cuerpos de agua naturales y/o a la calidad del agua potable.
- Puede perjudicar al suelo y a los acuíferos.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 254

Nivel de aplicación:

- * Vivienda
- * Vecindario
- ** Ciudad

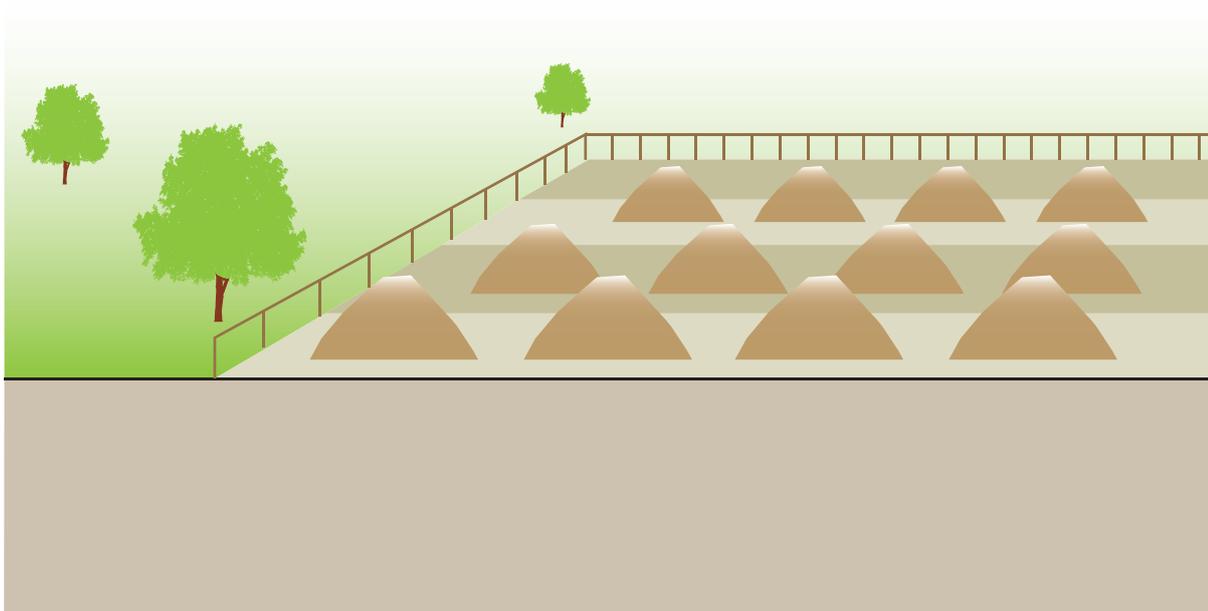
Nivel de manejo:

- * Vivienda
- ** Compartido
- ** Público

Entradas: Lodos Humus de pozo Compost

Heces secas Materiales secos de limpieza

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 su 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 a base de agua en algunas tecnologías, por lo que deben separarse.

Se debe colocar un basurero al lado de la interfaz 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 eliminados 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 no se aceptan el uso beneficioso de los lodos, éstos pueden colocarse en monorrellenos (vertederos exclusivos para lodo) o amontonar en pilas permanentes. El almacenamiento temporal contribuye a una mayor deshidratación del producto y a la muerte de los agentes patógenos antes de su utilización.

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 en 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 rehumectación por agua de lluvia y la generación de lixiviados.

Idoneidad En vista 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.

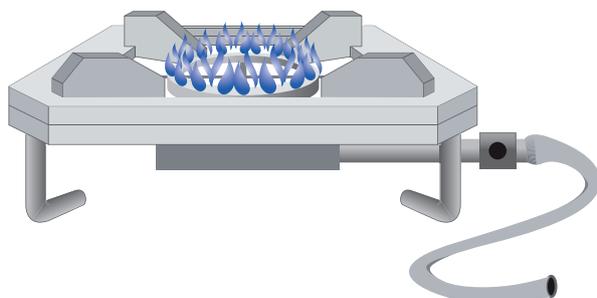
Pros y contras

- + Puede prevenir la disposición sin mitigación
- + 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 un equipo especial de esparcimiento

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 254

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Biogás
<input 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	Salidas: Energía térmica, luz



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 depende de 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/m³.

Consideraciones de diseño La demanda de gas puede definirse en base a 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 disfrutan 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. Cuando el biogás se usa para cocinar, la “depuración” de CO₂ no es necesaria.

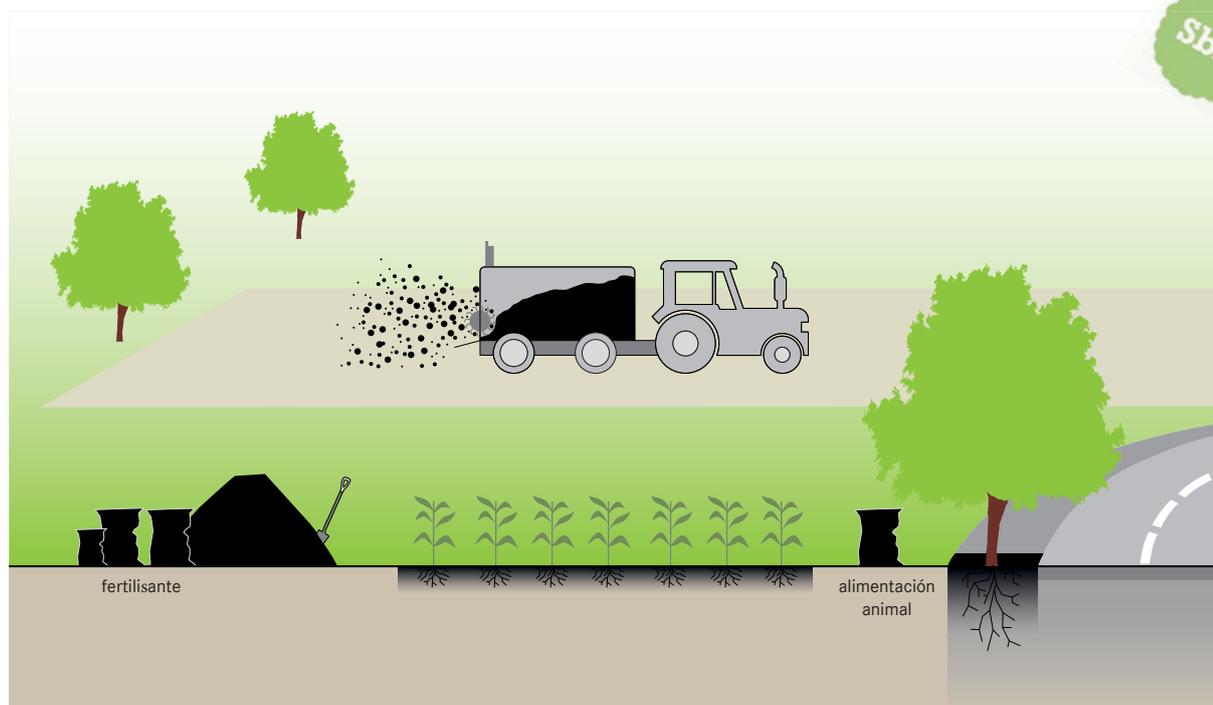
Pros y contras

- + 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

se encuentran en la página 254

Nivel de aplicación:	Nivel de manejo:	Entradas:  Biochar
<input type="checkbox"/> * Vivienda	<input type="checkbox"/> * Vivienda	Salidas:  Biomasa
<input type="checkbox"/> * Vecindario	<input type="checkbox"/> ** Compartido	
<input type="checkbox"/> ** Ciudad	<input type="checkbox"/> ** Público	



El biochar es un material sólido obtenido a partir de la cabonización, la conversión termoquímica de la biomasa en un ambiente con oxígeno limitado. El biochar derivado de la cabonización de lodos, heces y/o residuos orgánicos puede aplicarse a los suelos para mejorar sus propiedades y el rendimiento de los cultivos, además de actuar como sumidero de carbono para reducir los impactos del cambio climático.

Otras aplicaciones incluyen el uso como material de adsorción para filtros, especialmente para la purificación del agua, o como aditivo para materiales de relleno y de construcción. Puede utilizarse como aditivo en el procesamiento de ensilaje o mezclarse directamente en la alimentación del ganado.

Como sustituto de los combustibles fósiles, el biochar mejora la huella de CO₂ en la conversión de energía. Se suele denominar “biochar” cuando se utiliza como acondicionador del suelo, y “char” cuando se emplea como combustible.

Consideraciones de diseño El biochar es negro, ligero, muy poroso y de naturaleza alcalina debido a su contenido en cenizas. Tiene un alto contenido en carbono,

lo que le confiere un valor energético similar al del carbón o el carbón vegetal. La calidad y las características de la materia orgánica utilizada, así como las condiciones en las que se produce la cabonización, influyen en gran medida en las propiedades del biochar producido y, en consecuencia, en su idoneidad para los distintos usos.

Idoneidad El biochar tiene una amplia gama de aplicaciones en la agricultura, la silvicultura, la generación de energía y la producción de fertilizantes. Cuando se utiliza como acondicionador del suelo, el alto contenido de carbono del biochar aumenta el secuestro de carbono en el suelo, es decir, el almacenamiento durante un largo periodo de tiempo. Un posible beneficio futuro del almacenamiento de carbono a largo plazo en los suelos es la opción de certificados de carbono comercializables que podrían reducir considerablemente el costo del biochar.

Debido a su alta porosidad y gran superficie, el biochar se utiliza como un filtro de tratamiento y para el acondicionamiento del suelo. Como filtro, el biochar elimina los contaminantes del agua mediante el proceso de adsorción. Su gran superficie y porosidad proporcionan muchos sitios activos para la fijación de los compuestos disueltos en el agua contaminada. La afinidad de adsorción de los

contaminantes en el suelo, como los metales pesados y los contaminantes orgánicos, puede impedir que sean absorbidos por las plantas. El biochar aumenta la formación y estabilización de microagregados en el suelo y tiene una elevada porosidad y superficie, lo que se traduce en una gran capacidad de retención y adsorción de nutrientes.

La fijación del N en el suelo tiene lugar en gran medida en forma disponible para las plantas, por lo que se reduce la posible lixiviación del N en forma de NO_3^- . La disponibilidad de otros nutrientes importantes, como el P y el K, tiende a aumentar. El impacto exacto de la aplicación de biochar en la fertilidad del suelo también depende de otros factores, como los patrones de aplicación (por ejemplo, la tasa de aplicación, el tamaño del biochar, las prácticas de manejo), las características del suelo y las condiciones ambientales. El interés por el biochar está aumentando para su adición en los sustratos de plantación de árboles y arbustos en el contexto de la jardinería urbana, con resultados sorprendentes en cuanto a la resistencia a la sequía y a los contaminantes. En horticultura, el biochar puede sustituir parcial o totalmente al sustrato de plantación. Como aditivo de los materiales de construcción, por ejemplo en las mezclas de hormigón, el biochar permite un sumidero de carbono que mejora significativamente el balance de carbono. Otros posibles usos son en la construcción de carreteras como aditivo del asfalto. Cuando se utiliza para la conversión de energía, puede sustituir directamente a cualquier aplicación que utilice carbón o carbón vegetal.

Aspectos de salud/aceptación Los contaminantes presentes en el sustrato carbonizado (por ejemplo, los lodos), como los contaminantes orgánicos, los insecticidas y los pesticidas, así como los patógenos, se destruyen catalítica o térmicamente en los procesos avanzados de producción de biochar. Por tanto, el biochar es un producto seguro. Además, los metales pesados restantes en el biochar se presentan como sulfuros insolubles y no deberían estar disponibles para ser absorbidos por las plantas, lo que hace que el biochar sea seguro para su uso en la agricultura. Sin embargo, el polvo resultante de la aplicación inicial del biochar puede suponer un riesgo de enfermedades respiratorias. Se deben utilizar mascarillas cuando se manipule el biochar. La investigación y el desarrollo en torno a la carbonización durante los últimos 15 años han demostrado la importancia y las posibilidades de esta tecnología y su producto, el biochar. No parece haber barreras sociales para su uso, pero como el conocimiento de este producto y su disponibilidad son todavía muy escasos, su uso no está todavía muy extendido. Sin embargo, sus propiedades y su amplia gama de aplicaciones lo con-

vierten en un producto prometedor, especialmente para el uso del biochar de los lodos de depuradora en la agricultura. Sólo una mayor aplicación y difusión de la tecnología de carbonización avanzada, combinada con el desarrollo de capacidades, permitirá aprovechar todos los beneficios para los usuarios potenciales del biochar.

Operación y mantenimiento El biochar puede almacenarse en bolsas en lugares secos. Puede utilizarse en la agricultura del mismo modo que el compost o el estiércol sólido y puede incorporarse al suelo. Para su aplicación con un esparcidor de estiércol, debe mezclarse con otros materiales orgánicos, por ejemplo, el compost. Cuando se utiliza como material filtrante, el biochar debe sustituirse regularmente en función del tamaño del filtro y del caudal. El material filtrante usado debe tratarse adecuadamente o eliminarse.

Pros y contras

- + El biochar puede mejorar la calidad del suelo y su estructura biológica y química
- + La aplicación de biochar en el suelo es un medio para aumentar su almacenamiento de carbono. El largo periodo de almacenamiento del biochar en el suelo lo convierte en un sumidero de carbono, compensando el efecto de las emisiones androgenéticas de CO_2
- + Debido a su elevada relación superficie-volumen y a su fuerte afinidad con las sustancias no polares, el biochar tiene el potencial de adsorber una variedad de contaminantes orgánicos y metales pesados del agua y del suelo
- + El biochar tiene un efecto de encalado que puede utilizarse para equilibrar los suelos ácidos hacia un pH neutro
- + La alta capacidad de adsorción y retención evita la lixiviación de los nutrientes, pero esta unión no tiene, en general, ningún efecto negativo sobre la disponibilidad y la absorción por parte de las plantas
- Sin embargo, en algunas condiciones, el rendimiento puede disminuir debido a la absorción de agua y nutrientes por parte del biochar, lo que reduce la disponibilidad de estos recursos para los cultivos
- El polvo resultante de la aplicación inicial del biochar puede suponer un riesgo de enfermedades respiratorias
- Cuando se aplican pesticidas y herbicidas, la capacidad de adsorción del biochar puede reducir su eficacia
- El nitrógeno se pierde de la biomasa durante la producción de biochar

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 255

Además de las tecnologías establecidas y probadas que se presentan en la parte 2 de este compendio, existen muchas otras 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 marzo de 2022) 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).

Desde la última edición del compendio (2014), la acción colectiva y las inversiones de actores, como la Fundación Bill y Melinda Gates, la Iniciativa Mundial de Saneamiento Inclusivo para toda la Ciudad (CWIS por sus siglas en inglés), el Fondo para el Saneamiento y la Higiene (SHF por sus siglas en inglés), los campeones regionales y nacionales, como la Comisión de Investigación del Agua de Sudáfrica, junto con alianzas como la Alianza de Saneamiento Sostenible (SuSanA por sus siglas en inglés), la Alianza de Gestión de Lodos Fecales (FSMA por sus siglas en inglés) y muchos más, han seguido acelerando la visibilidad, la voluntad política, la innovación y el conocimiento en forma de un número cada vez mayor de publicaciones revisadas por pares, la mayoría de ellas de código abierto.

Si bien, algunas innovaciones se han incluido en la parte 2 de este compendio o se presentan en la Guía de Recuperación de Recursos de Saneamiento (véase p. 10), hay muchas más tecnologías prometedoras que se están investigando y desarrollando.

Esta sección se centra en tres desarrollos prometedores que han surgido de las iniciativas mencionadas y que están listos para su comercialización en la Región del Gran Caribe:

1. Inodoro autónomo WeCo, Francia

Basado en la necesidad urgente de soluciones sin conexión a la red, se han desarrollado, adaptado y probado sobre el terreno nuevas tecnologías junto con el desarrollo de la nueva norma industrial ISO 30500 (pp. 174-176). Una de estas soluciones, que integra varias innovaciones en una solución de saneamiento móvil, compacta y autónoma, se presenta en forma de estudio de caso, siguiendo la misma estructura que otros estudios de caso presentados en la parte 4 de este compendio.

2. Plataforma de innovación SASTEP, Sudáfrica

El programa empresarial sudafricano de tecnología de saneamiento (SASTEP) es una plataforma de innovación que trata de acelerar la adopción de tecnologías de saneamiento innovadoras y emergentes en Sudáfrica, fomentando la fabricación y la comercialización local. La estrategia del programa consiste en apoyar y empoderar a los innovadores en materia de saneamiento (socios tecnológicos) y a los empresarios del sector (socios comerciales) mediante la formación de asociaciones de colaboración. Se presentan tres de estas innovaciones con potencial para la Región del Gran Caribe:

- 2.1. EnviroSan Eazisplit (fácil de desviar), incluido en U.3, parte 2 de este compendio
- 2.2. Enviro Options Clear inodoro de recirculación
- 2.3. LiquidGold Diamond Reactor (“reactor diamante”)

3. SCG Zyclone Cube, Tailandia

Entre las diversas “Tecnologías de inodoros reinventados en desarrollo” presentadas en el sitio web del Instituto Nacional de Normalización de Estados Unidos (ANSI) dedicado a las “Normas ISO de saneamiento sin alcantarillado”, se ha seleccionado una solución de tratamiento prefabricada de un gran fabricante de Tailandia por su modularidad y su capacidad para mejorar el efluente de los tanques sépticos en términos de carga orgánica y eliminación de patógenos.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 255

Estudio de caso sobre tecnologías emergentes: Combinar la autonomía y la circularidad - Inodoro sin alcantarillado de WeCo, Francia



Aspectos generales Este sistema de saneamiento ofrece una solución innovadora, móvil, compacta y autónoma para el saneamiento con inodoros convencionales. Las aguas negras se reciclan en un circuito cerrado en agua higiénicamente segura que se reutiliza para la descarga. Por lo tanto, no se requiere una conexión a la red de alcantarillado, ni una conexión de agua potable, para la descarga del inodoro. En lugares remotos, las necesidades energéticas pueden satisfacerse con energía solar en los tejados, lo que garantiza un funcionamiento seguro sin conexión a la red.

Las tecnologías de tratamiento han surgido de las iniciativas para desarrollar sistemas fiables de saneamiento sin alcantarillado, cortando la cadena de servicios de saneamiento en la etapa de contención, por lo tanto, eliminando las etapas de vaciado y transporte, y con el tratamiento realizado *in situ* (véase Cuestiones transversales X 1.2.2 figura 1, p. 176: Norma de producto ISO 30500).

El sistema de saneamiento se desarrolló con criterios que llevaron a la selección y adaptación de las tecnologías más adecuadas. La tabla 1 muestra una selección de los criterios y la tecnología elegida para cada uno de ellos.

Proceso de planificación La planificación comienza con un análisis detallado de la demanda y la determinación adecuada de la capacidad necesaria de la unidad de aseo. Dado que no es necesario conectarse a la red de alcantarillado y agua, la planificación posterior de este tipo de sistemas es sencilla. En algunos emplazamientos, no se autoriza el vertido directo o la infiltración del agua sobrante, por lo que debe vaciarse y transportarse cada tres o seis meses. El sistema completo se muestra en la figura 1.

Tabla 1: Elección de la tecnología según los criterios seleccionados

Criterios	Tecnología elegida
Aguas residuales con concentraciones relativamente altas de materia orgánica (aguas negras de los aseos). Consumo de energía en la etapa de tratamiento secundario	Tratamiento anaerobio basado en un reacto anaerobio con deflectores (ABR), adaptado y desarrollado por WeCo.
Reutilización del agua reciclada en las cisternas	Hay que garantizar una desinfección total, por lo que se ha optado por la electrólisis.
Sistema móvil	Hubo que desarrollar pequeñas versiones de las tecnologías.

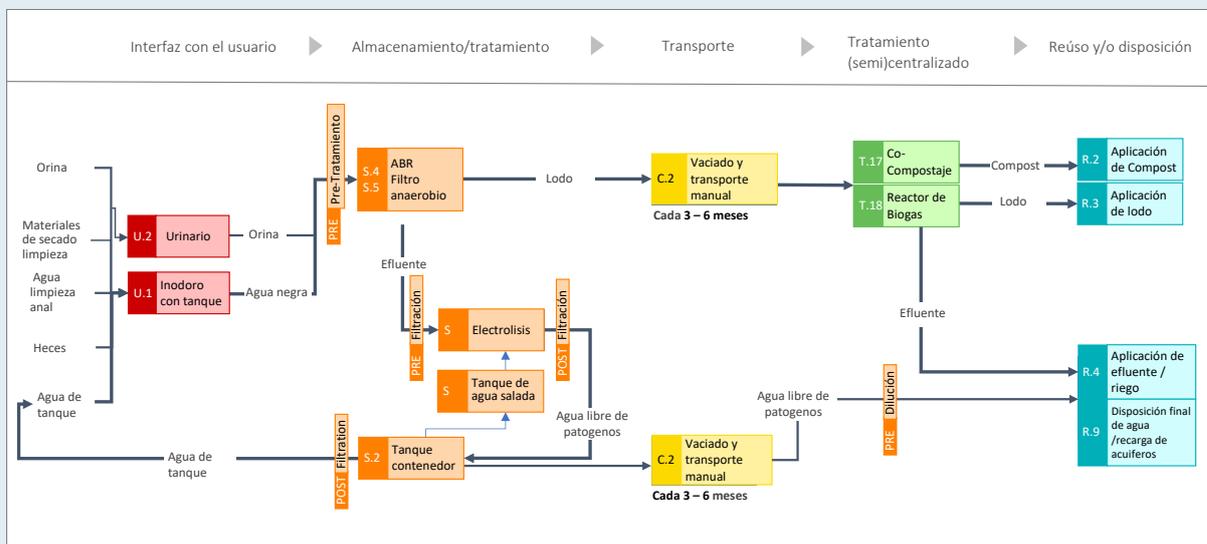


Figura 1 : Diagrama del sistema

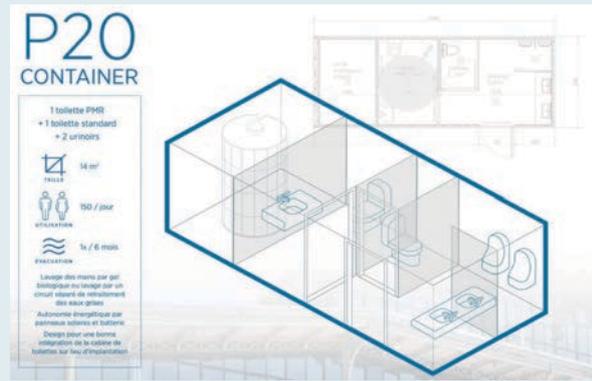
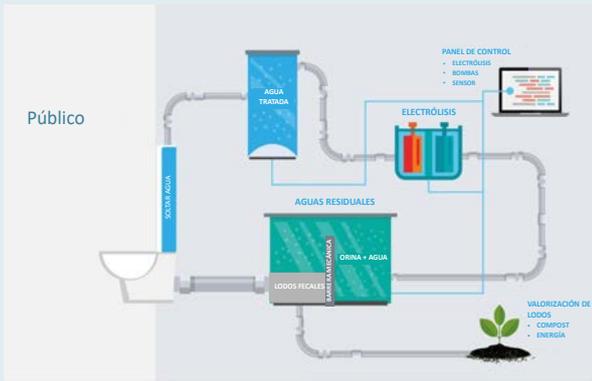
Diseño del sistema El sistema de tratamiento se basa en la combinación de una fase de sedimentación y digestión anaerobia seguida de una etapa de electrocloración. La digestión anaerobia tiene lugar en un biorreactor construido como un sedimentador híbrido-ABR (S.4) y un filtro anaerobio (S.5). Sirve como tratamiento primario y secundario para eliminar gran parte de la materia orgánica disuelta y los sólidos en suspensión. En el segundo paso, la electrocloración tiene lugar en un reactor electroquímico discontinuo mixto, que contiene una pila de ánodos de óxido de titanio-rutenio-hierro y cátodos de acero inoxidable, y consigue la desinfección completa y la eliminación total del amonio. El biorreactor necesita un vaciado periódico (cada 3 a 6 meses) que debe realizarse preferentemente mediante vaciado y transporte motorizado (C.2). Debido al ciclo cerrado del agua, las sales se acumulan en los lodos, por lo que el reúso en la agricultura sólo se recomienda después de la digestión anaerobia (T.18) o el co-compostaje (T.17) con otros materiales orgánicos. No se recomienda el reúso

directa. Debido a la continua entrada de orina, el sistema produce más agua de la que consume. Al igual que los lodos, el exceso de agua también contiene concentraciones de sales que requieren ser diluidas antes de su reúso en la aplicación de efluentes/irrigación (R.4). El vertido directo puede estar restringido.

Eficiencia del tratamiento Los resultados de la investigación del Instituto Tecnológico de California, que fue el primero en desarrollar la tecnología (Cid y Hoffmann, 2018), demuestran que todas las bacterias se destruyen completamente durante la electrólisis. Para determinar la eficiencia del tratamiento del sistema WeCo, el equipo de WeCo llevó a cabo una serie de campañas de control y las mediciones fueron realizadas por Eurofins, un laboratorio externo con experiencia en el análisis del agua. Algunos resultados se muestran en la tabla 3. Todos los agentes patógenos se destruyen siempre que los ciclos electroquímicos no se interrumpan y tengan un valor superior a 810 mV (potencial de oxidación-reducción)

Tabla 2: Sistema modular con diferentes opciones según concurrencia y espacio disponible

Tecnología	Independiente	Contenedor P10	P20	G40
Tamaño	2 m ²	7 m ²	14 m ²	30 m ²
Concurrencia (usuarios por día)	60-120	60	150	300
Vaciado de lodos y exceso de agua	1/3 meses	1/6 meses	1/6 meses	1/6 meses



Figuras 2 y 3: Tren de tratamiento y estructura del inodoro WeCo

durante más de tres minutos. Este es siempre el caso, como muestran los datos de la figura 4. Puede verse claramente que el valor de 810 mV se alcanza sistemática y rápidamente durante cada ciclo. Según estos resultados, el agua que sale del electrolizador está libre de todo agente patógeno. Para evitar el crecimiento microbiano durante el almacenamiento, el tiempo de reacción se prolonga para introducir cloro residual adicional en el circuito.

En el proceso de electrólisis se produce y libera nitrógeno elemental que reduce drásticamente el contenido de nitrógeno en el agua, lo que constituye otra salvaguarda contra la proliferación de patógenos durante la fase de almacenamiento.

El ciclo cerrado de agua proporciona un importante ahorro de agua y requiere que el exceso de agua se descargue sólo en intervalos de 3 a 6 meses. Lo mismo ocurre con el drenaje de los lodos. El sistema requiere una recarga periódica de sal para mantener el proceso. La tabla 4 muestra las necesidades de sal de las distintas unidades del sistema y su consumo de energía.

Aspectos institucionales y normativos de los sistemas de saneamiento sin alcantarillado

WeCo colabora con las autoridades locales donde se encuentran las primeras unidades de saneamiento. En Francia, las autoridades locales también participan en el control de la calidad del agua en el ciclo cerrado. No se permite la infiltración en el suelo del exceso de agua en las inmediaciones de las instalaciones. Para simplificar los procesos de aprobación, WeCo colaboró en el desarrollo de la norma industrial ISO 30500, junto con expertos de 48 países, que representan a la industria, el gobierno, el mundo académico y las organizaciones no gubernamentales.

Los reguladores y responsables políticos, al adoptar la norma a nivel nacional, pueden confiar en la opinión de expertos mundiales y en la certificación de terceros para garantizar la seguridad del producto para sus ciudadanos sin gastar su propio tiempo y dinero. Veintiséis países han adoptado ya la norma ISO 30500, entre ellos Francia,

Tabla 3: Parámetros microbiológicos tras dos horas de tratamiento por lotes

Parámetros microbiológicos	Resultados	Unidad
Enterococo intestinal	0	Ufc/100ml
Bacterias coliformes	0	Ufc/100ml
Escherichia coli	0	Ufc/100ml

Tabla 4: Ahorro de agua y consumo de sal y electricidad (Medidas WeCo)

Parámetro	Independiente	P10	P20	G40
Ahorro de agua por año (m³)	262,8	131,4	328,5	657
Consumo eléctrico (MWh)	8,4	4,2	10,5	21
Consumo de sal (Kg/yr)	340	170	427	854
Cartuchos de filtro (unidad por año)	4	2	2	4



Figura 4: Evolución del potencial de óxido-reducción en el tiempo. Cada sistema supervisa continuamente algunos parámetros físico-químicos. (Fuente: monitorización en línea del sitio WeCo de París, enero de 2022)

Estados Unidos, Mauricio, Seychelles, Sudáfrica y Bangladesh. Tras diseñar su sistema de acuerdo con la norma, WeCo se está preparando para iniciar el proceso de certificación ISO 30500 (véase temas transversales X 1.2.2, p. 174).

Operación y mantenimiento La operación de la unidad de saneamiento está en manos de la institución o del contratista privado que encargó la unidad. Esta operación incluye la limpieza diaria, el relleno regular de sal, el vaciado periódico del exceso de agua y de los lodos incluido su transporte a las plantas de tratamiento (cada 3-6 meses). Tras una formación especial, los técnicos locales pueden realizar tareas de mantenimiento regular y reparaciones sencillas en las unidades tecnológicas independientes, así como en los modelos de contenedor. La puesta en marcha de las unidades y las tareas de mantenimiento complejas son responsabilidad del equipo de WeCo. Un software especial ayuda a supervisar y controlar las unidades.



Aspectos financieros El costo de inversión actual de una unidad tecnológica independiente es de \$ 35 000 USD y el de una unidad de contenedores completa de tamaño P-20 es de \$70 000 USD. Los costos de operación y mantenimiento son de aproximadamente \$ 5 000 USD al año, incluidos los costos de operación del cliente, los trabajos de mantenimiento de los técnicos locales y la supervisión y el mantenimiento especial del equipo de WeCo. Se espera que el costo de la inversión sea de \$ 20 500 USD si se puede llevar la producción a una fase de industrialización con mayor producción.

Se espera que la vida útil del sistema sea de unos 20 años. Sobre la base del costo de inversión actual de \$70 000 USD para una unidad P-20 con una asistencia media de 150 usuarios al día y un costo de funcionamiento y mantenimiento de \$ 5 000 USD, el costo global para los clientes al año es de \$ 8 500 USD (sin incluir los costos

financieros). Con unos 55 000 usuarios al año, el costo por usuario será inferior a 20 céntimos. Otro beneficio es el ahorro de agua potable gracias al reciclaje del 97% del agua de arrastre. Cada año se producen unos 10 m³ de agua tratada gracias al procesamiento de la orina y al reciclaje de su contenido de agua.

Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas La experiencia adquirida con el funcionamiento del equipo en condiciones reales condujo al desarrollo de funciones de limpieza automática de los electrodos para prolongar su vida útil. El software de operación se ha perfeccionado para mejorar la adición de sal. La instalación de las unidades en la región de París se considera un éxito, ya que proporciona un servicio de saneamiento fiable sin necesidad de una instalación compleja ni de una operación que requiere mucha mano de obra. Se han podido ahorrar más de 3,5 m³ de agua al mes.

Retos El sistema de tratamiento está limitado por la fase de electrólisis, que funciona en lotes de 2 horas. Por lo tanto, uno de los retos será reducir el tiempo necesario para el tratamiento electroquímico. Una forma de conseguirlo es optimizar el tratamiento biológico para eliminar la máxima cantidad de materia orgánica disuelta en la primera fase. Sin embargo, este objetivo tiene sus propios retos: la lenta degradación anaerobia a temperatura ambiente en climas fríos, y la inhibición por la presencia y acumulación de sales (y amoníaco o subproductos de la cloración en caso de mal funcionamiento).

La electro-oxidación es también la fase que requiere más energía. Si se consigue minimizarla, se contribuirá en gran medida al camino hacia la autonomía energética. Al utilizar la energía solar fotovoltaica, el sistema mejorado ya no depende de la electricidad de la red. Otro reto que hay que abordar ahora es la industrialización del sistema para reducir el tamaño de la solución de tratamiento, limitar su costo y mejorar su robustez. Un último reto es mejorar la recuperación de los nutrientes, en particular del fósforo, que puede precipitarse durante la electrólisis y para el que hay que investigar un método de recuperación.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 256

Innovaciones de SASTEP, aplicables a la Región del Gran Caribe

Se han invertido importantes esfuerzos y recursos en la plataforma de innovación SASTEP, que pretende acelerar la adopción de tecnologías de saneamiento innovadoras y emergentes en Sudáfrica mediante el fomento de la fabricación y la comercialización local.

Se han seleccionado las tres tecnologías siguientes:

1. **Envirosan Eazisplit** - un inodoro híbrido con desviación de orina de baja descarga (U.3)
2. **Enviro Options Clear** - una instalación de inodoro autónomo (U.1+U.2+S)
3. **LiquidGold Diamond Reactor** - un reactor de recuperación de nutrientes de orina a estruvita

Al igual que el sistema de inodoros autónomos sin alcantarillado presentado en la sección anterior, dos de las tres tecnologías innovadoras probadas en el programa SASTEP y presentadas en esta sección surgieron del programa “El reto de reinventar el inodoro”.

1. Envirosan Eazisplit



Figura 1: Entrega del inodoro Eazisplit

El Envirosan Eazisplit es una tecnología híbrida de saneamiento con desviación de orina de bajo nivel de descarga, basada en el diseño EOOS UDFT (U.3) y desarrollada como parte del “Reto de reinventar el inodoro”. Al ser un inodoro con arrastre hidráulico que se puede verter manualmente (“pour-flush”, Still, 2014), la solución Eazisplit es totalmente independiente de la red y no requiere una conexión al agua. Se descarga manualmente, con tan solo 2l de agua gris o potable,

En febrero de 2011, la Fundación Bill y Melinda Gates anunció un gran desafío a las universidades y otras organizaciones de investigación para “Reinventar el inodoro”. El objetivo era desarrollar tecnologías de saneamiento innovadoras de próxima generación que fueran *in situ* o descentralizadas, en las que el agua, la energía y los nutrientes se recuperaran y reutilizaran, y que fueran adecuadas para regiones “propensas a las inundaciones, o con escasez de tierra, agua o dinero”. El saneamiento se ha diversificado más allá de las alcantarillas, dando a las personas y a las ciudades nuevas opciones flexibles para sistemas de saneamiento descentralizados o *in situ*. La visión detrás de los “inodoros reinventados” era que se instalaran en cualquier lugar, incluso en zonas urbanas abarrotadas, y que funcionaran “fuera de la red” a menos de \$0,05 USD por usuario al día, eliminaran los patógenos y permitieran la recuperación de recursos valiosos, como el agua, los nutrientes y la energía (Sindall, 2020).

Para más información y contactos con los fabricantes: akina@wrc.org.za (Sr. Akin Akinsete)

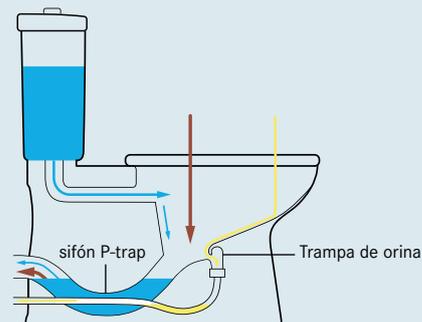


Figura 2 y 3: Vista superior y sección transversal de Eazisplit

mientras se mantiene una separación de orina del 70-80 %. El sistema Eazisplit puede actualizarse para que funcione con una cisterna interna o externa (que sigue descargando con tan sólo 2 L de agua). La orina se recoge por separado y puede almacenarse o tratarse para su uso posterior como fertilizante (por ejemplo, el reactor LiquidGold Diamond). La tecnología de desviación de orina se desarrolló aún más para adaptarse mejor al contexto de las economías emergentes (eficiencia en el uso del agua,

robustez y agua vertida). Esto dio lugar a una patente conjunta entre las empresas EOOS y EnviroSan. Además, el inodoro está equipado con el sifón “P-Trap” patentado por EnviroSan (Bhagwan, 2014). Esta solución de saneamiento tiene el potencial de ser comercialmente viable en todas las economías emergentes, ofreciendo importantes co-beneficios, como la creación de puestos de trabajo, la transferencia de competencias y la educación.

2. Enviro Options Clear Recirculating Toilet



Figura 4: Bloque de aseos de recirculación TT-5B

El sistema de inodoros de recirculación Clear utiliza un proceso de ciclo de agua completo para el tratamiento de las aguas negras. El modelo TT-5B es un inodoro de 4 plazas, diseñado para acomodar una media de 600 usos diarios. Se trata de una unidad modular en un contenedor que es fácil de transportar, instalar y poner en marcha. No requiere conexión a un sistema de alcantarillado y puede ser energéticamente autosuficiente si se conecta a paneles solares. Ofrece una solución sin conexión a la red y funciona en zonas con poco suministro de agua. Las interfaces con el usuario son (U.1) inodoros con tanque. El tratamiento *in situ* utiliza (T.1) un sedimentador seguido de un “reactor aerobio” con bacterias propias y un biorreactor de membrana (MBR). Un sistema ultravioleta (UV, POST) garantiza la desinfección del agua recuperada antes de ser reciclada para la descarga. **Esta instalación autónoma es comparable a la solución de contenedores de WeCo, Francia, presentada en la sección anterior, que utiliza una tecnología de tratamiento diferente.** El sistema tiene licencia de Clear Environmental Technologies Co. Ltd (Suzhou/China) y está fabricado por Enviro Options, una empresa sudafricana de saneamiento en seco con más de

Consideraciones: Inodoro de arrastre con desviación de orina híbrido (agua vertida manualmente o con una cisterna de 2 L) para asentamientos rurales, periurbanos y urbanos (U.3). Fabricado en polipropileno, es mucho más barato que los inodoros comparables de porcelana.

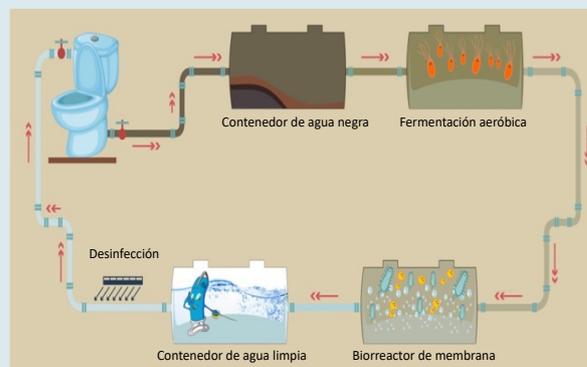


Figura 5: Proceso de tratamiento que incluye un reactor de membrana de biopelícula (BF-MBR)

26 años de experiencia en la fabricación y el suministro de sistemas de saneamiento seguros, fuera de la red y sin alcantarillado.

Consideraciones: Esta tecnología autónoma y sin alcantarillado puede utilizarse en entornos rurales, periurbanos y urbanos para viviendas, asentamientos informales y escuelas. Requiere energía para funcionar (solar o de la red).

Además, también existe el modelo **TT-6**, que es una unidad modular y en contenedor que alberga **únicamente la planta de tratamiento**. La unidad está diseñada para tratar una media de 6 000 usos diarios y **puede acoplarse a bloques de aseos existentes o a pequeños complejos turísticos**, lo que la hace más versátil que el modelo TT-5B.

3. LiquidGold Diamond Reactor



Figura 6: Unidad móvil del Reactor Diamante

LiquidGold Diamond es un reactor automatizado de recuperación de nutrientes que ayuda a ahorrar en costos de productos químicos y de eliminación de residuos, a la vez que crea una nueva fuente de ingresos a través de la venta de fertilizantes recuperados de alto valor. La precipitación de estruvita es un proceso bien conocido para recuperar el fósforo de la orina (“Guía para la recuperación de recursos sanitarios”, p. 78). El proceso de precipitación produce estruvita sólida a partir de la solución de orina durante una reacción química. La reacción se inicia mediante la adición de una fuente de magnesio soluble (por ejemplo, magnesio, sales como el cloruro de magnesio o el óxido de magnesio, o un producto de desecho como el nigari). Casi todo el fósforo de la orina almacenada puede precipitarse. Aunque la estruvita también contiene amoníaco, su precipitación es predominantemente un proceso de recuperación de fósforo porque se recupera menos del 4 % del amoníaco de la orina. Tras la adición de magnesio, los cristales de estruvita se forman rápidamente, y sólo se requiere una ligera sobredosis para la precipitación completa de todo el fósforo.



Figura 7: Componentes del Reactor Diamond

Esta planta de conversión de orina en estruvita a escala industrial es la primera de su clase en Sudáfrica. La unidad ofrece la oportunidad de cerrar el ciclo de los nutrientes, lo que constituye una auténtica innovación de la economía circular del saneamiento. El inventor se ha asegurado un acuerdo de venta de 80 toneladas de estruvita al año.

Consideraciones: La recolección de orina con los urinarios (U.2) y los inodoros desviadores de orina (U.3 y U.4) ofrece varias ventajas: debido a que las plantas de tratamiento de aguas residuales ahora reciben una carga de nutrientes mucho menor, su tamaño puede ser mucho más pequeño, mientras que al mismo tiempo los cuerpos de agua podrían ser protegidos más efectivamente de los aportes de nitrógeno y fósforo. Además, los nutrientes quedan disponibles para su reciclaje con reactores como el reactor LiquidGold Diamond. Es apropiado para entornos rurales, periurbanos y urbanos. Completamente automatizado, sin conexión a la red y con control remoto, convierte 98 litros de orina en 1 kg de fertilizante (estruvita).

Referencias y lecturas adicionales

se encuentra en la página 256

Innovaciones para la Región del Gran Caribe desde el sudeste asiático, el cubo Zyclone de SCG Chemicals, Tailandia



Figura 1: Cubo Zyclone

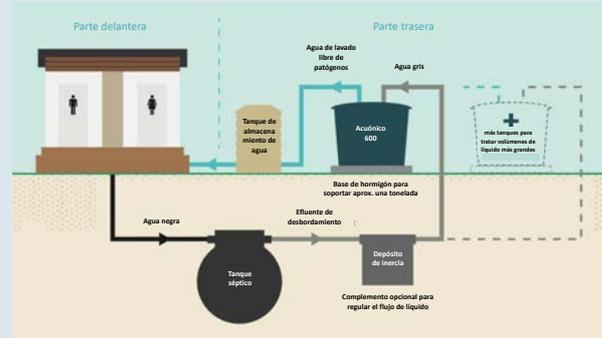


Figura 2: Procesamiento de líquidos después del tanque séptico

Integrado en un inodoro convencional, el Zyclone Cube está diseñado para separar y tratar eficazmente las fracciones sólidas y líquidas. La forma del Zyclone (figura 1, 1) consigue una separación de líquidos superior al 98%. La fracción de sólidos se deja caer en un dispositivo de calentamiento de tornillo 2a que opera intermitentemente en la deshumidificación e inactivación de los contenidos patógenos. El líquido se trata además con medios absorbentes integrados (por ejemplo, tierra modificada y zeolita) en una serie de cámaras anaerobias, aerobias y anóxicas antes de un paso final de desinfección electroquímica.

2b

Consideraciones: El líquido separado se filtra primero en una cámara de medios de plástico (figura 3, 1) para eliminar las partículas sólidas gruesas. Las dos cámaras siguientes (2 y 3) se llenan con medios sintéticos de 2 cm y 1 cm de diámetro, respectivamente. En la cámara anaerobia 2, la carga orgánica se reduce antes de pasar a una cámara aerobia 3 equipada con aireación de microburbujas que elimina aún más los contenidos de DQO, TN

y TP. En la siguiente cámara 4, el TN se reduce en gran medida mediante medios de zeolita en condiciones anóxicas. La cámara 5 está diseñada para recircular el líquido tratado a la cámara anaerobia 2 con el fin de aumentar el rendimiento global del tratamiento. La última cámara 6 está equipada con electrodos electroquímicos que inactivan los patógenos que permanecen en el líquido antes de la descarga.

La materia fecal fresca separada (sólida) se recoge en una cámara situada debajo del separador Zyclone y se puede desinfectar y reducir el contenido de humedad mediante un dispositivo de calentamiento de tornillo. El dispositivo de calentamiento puede inactivar los helmintos en 4-5 valores logarítmicos y E. coli en 6 valores logarítmicos.

La unidad de tratamiento de líquidos que produce agua sin patógenos puede procesar las aguas grises o los efluentes de los tanques sépticos para su reutilización como agua de arrastre o de riego (figura 2).

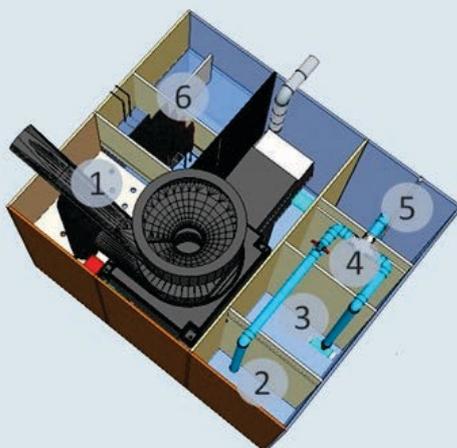


Figura 3: Componentes de tratamiento de líquidos

- 1 Filtro de flujo ascendente
- 2 Cámara anaerobia
- 3 Cámara aerobia
- 4 Cámara anóxica
- 5 Unidad de recirculación
- 6 Desinfección electroquímica

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 257

Como se presentó en la sección de terminología de este compendio, un sistema de saneamiento puede diseñarse lógicamente seleccionando una tecnología para cada producto de cada grupo funcional aplicable. Sin embargo, la selección y funcionalidad sostenible de la combinación más adecuada de tecnologías de saneamiento no obedece únicamente a consideraciones técnicas. Se ve influido por factores circundantes, como el entorno local construido y natural por encima y por debajo del suelo, las megatendencias como el cambio climático y el llamado “entorno propicio”, como el liderazgo político, las comunidades empoderadas, la regulación efectiva y la rendición de cuentas, y mucho más.

En esta sección, los temas transversales mencionados anteriormente no se enumeran simplemente. Más bien, se eligió el “**Plan de Acción Estratégico Regional para el Sector del Agua en el Caribe para Desarrollar Resiliencia a los Impactos del Cambio Climático (RSAP)**” como el marco regional relevante para su presentación. Existen otras políticas, estrategias y planes de acciones regionales o subregionales que se relacionan con la gestión de los recursos hídricos. Por lo tanto, cabe señalar que para este compendio, el RSAP sirve como ejemplo para orientar la planificación y la toma de decisiones en el sector de saneamiento.



Figura 1: Huellas históricas de huracanes 1851-2016 (Portada del RSAP 2019)

Los socios nacionales, internacionales y multilaterales han invertido esfuerzos sustanciales en el proceso de desarrollo del RSAP. El Plan describe los principales problemas estructurales que las empresas de servicios públicos de la región deben abordar, así como los impactos del cambio climático tanto en los recursos hídricos como en los servicios de agua y saneamiento, al tiempo que propone respuestas para cada uno y establece un marco de acción a nivel nacional y regional. Fue adoptado durante el 15.º Foro de Alto Nivel de Ministros del Caribe responsables del Agua con la “Declaración de Basseterre” firmada por 16 ministros en octubre de 2019.

Respaldo por planes de implementación actualizados regularmente, el RSAP representa un esfuerzo coordinado para la acción colectiva entre gobiernos regionales, bancos multilaterales de desarrollo, organizaciones internacionales y asociaciones profesionales, coordinado por la Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales.



Figura 2: Cinco Pilares del Plan de Acción Estratégico

El RSAP se basa en **cinco pilares principales**, a saber, (i) la gobernanza del sector del agua, (ii) el apoyo a las decisiones, (iii) la gestión de los recursos hídricos, (iv) la provisión de servicios de agua y (v) el desarrollo de capacidades y la sensibilización pública. Dados los impactos desproporcionados de la escasez de agua y los fenómenos meteorológicos extremos en las mujeres del Caribe, es muy importante que todas las intervenciones en el sector del agua y el saneamiento reconozcan y atiendan la necesidad de sensibilidad de género en la planificación, implementación, seguimiento y evaluación. Este es particularmente el caso con respecto a las intervenciones que están diseñadas para aumentar la resiliencia a los impactos del cambio climático o reducir la exposición a los desastres naturales. La participación de las partes interesadas y la creación de comunidades empoderadas es fundamental para el RSAP.

Los temas transversales destacados en esta sección están estructurados a lo largo de los cinco pilares del RSAP, precedidos por los componentes básicos estratégicos: *participación de las partes interesadas, sensibilidad de género y resiliencia climática.*

- X A - Participación de las partes interesadas**
- X B - Sensibilidad de género**
- X C - Resiliencia climática**
 - X C.1 El discurso internacional sobre cambio climático y resiliencia en el sector de saneamiento
 - X C.2 Co-beneficios para una mejor resiliencia con soluciones basadas en la naturaleza

- X 1 - Gobernanza del agua resiliente al clima**
 - X 1.1 Ambiente institucional y regulatorio
 - X 1.2 Trabajar con normas y directrices existentes
 - X 1.2.1 Protocolo relativo a la contaminación proveniente de fuentes y actividades terrestres del Convenio de Cartagena (Protocolo FTCM)
 - X 1.2.2 Normas ISO para sistemas y tecnologías de saneamiento de este compendio
 - X 1.2.3 Directrices y proceso de certificación para la producción sostenible de biochar y sumideros de carbono con base en biochar
- X 2 - Gestión de recursos hídricos resiliente al clima**
 - X 2.1 Evaluación integrada de saneamiento y aguas subterráneas
 - X 2.2 Recarga de acuíferos administrados y almacenamiento y recuperación de acuíferos
 - X 2.3 Captación de agua de lluvia
- X 3 - Apoyo a la toma de decisiones informadas por el clima**
 - X 3.1 Una lección basada en desarrollos institucionales, estándares y calidad de los ríos en el Reino Unido
 - X 3.2 Una lección basada en cómo los “Estados tigres” de Asia oriental brindaron servicios de saneamiento en una generación
 - X 3.3 Vincular el monitoreo y la toma de decisiones locales con el progreso y la presentación de informes del ODS 6
- X 4 - Provisión de servicios de agua y saneamiento resiliente al clima**
 - X 4.1 Principios de planificación de sistemas de saneamiento
 - X 4.2 Principios de costeo de los sistemas de saneamiento
 - X 4.3 Otras áreas claves del saneamiento ambiental
 - X 4.4 Operación y gestión efectiva de activos
 - X 4.5 Financiamiento de saneamiento sensible al clima
- X 5 - Desarrollo de capacidades y sensibilización para la resiliencia climática**
 - X 5a Investigación y desarrollo

Otro factor importante en la elección del marco RSAP con enfoque en la resiliencia climática es uno muy pragmático: todos los bancos multilaterales de desarrollo tienen que llevar la contabilidad de los gases de efecto invernadero (GEI) en sus proyectos, y ya tienen o están desarrollando herramientas de contabilidad de GEI para hacerlo. Sin embargo, cuando los especialistas en contabilidad de GEI analizan un proyecto de saneamiento, no necesariamente entienden dónde ocurren todas las fugas, los beneficios colaterales potenciales o todos los impactos climáticos, y las diferencias entre soluciones en red y fuera de la red, por ejemplo. Como profesionales del saneamiento, debemos educarlos ya que debemos aprender de ellos. Necesitamos hacer avanzar esta agenda de manera concomitante: el marco del RSAP es una buena oportunidad para contribuir a esto.

X A – Compromiso de las partes interesadas



El RSAP... tiene la intención de crear comunidades empoderadas y describe la participación de las partes interesadas como algo fundamental. Entre otros, el apartado específico de participación comunitaria establece:

No es posible que ningún gobierno gestione los recursos hídricos nacionales de manera efectiva sin el compromiso y la participación del público, individualmente y a través de organizaciones comunitarias y de la sociedad civil. Por lo tanto, las comunidades locales deben ser enroladas como aliadas esenciales en la protección de los recursos hídricos, y se les debe otorgar roles significativos para ayudar a dar forma a las decisiones que se toman con respecto a la gestión del recurso.

Debe hacerse todo lo posible para educar a los consumidores y las comunidades e involucrarlos en la gestión de sus recursos hídricos. Se necesitan comunicaciones y mensajes creativos que alienten a los niños en edad escolar y a las comunidades a aprender y actuar, lo que incluye abogar ante los políticos sobre este tema (Moss, 2015).

El 2.º Plan de Implantación del RSAP...

*Para tener éxito, el plan de acción **requerirá que las partes interesadas** en todos los niveles se **desvíen de los negocios habituales**. Será necesario hacer cosas diferentes a las que han estado haciendo, y hacer muchas de las cosas que han estado haciendo de manera diferente. Este cambio de cultura, actitudes y prácticas no sucederá de la noche a la mañana. Requerirá educación pública constante, estímulo y refuerzo. Los vendedores del Plan deben ser creíbles e identificables y, siempre que sea posible, deben estar preparados para predicar con el ejemplo.*

Los seis sistemas y las 48 tecnologías presentados en este compendio son todo menos “status quo”. De acuerdo con el RSAP, el compendio es un documento de orientación destinado principalmente a ser utilizado para procesos de **planificación comunicativa que involucren a las comunidades locales y otras partes interesadas**.

El usuario tiene un papel clave y también una responsabilidad en la prestación del servicio. Sin que el usuario adopte este rol, no puede tener lugar una prestación sostenible del servicio. Para más información sobre funciones y responsabilidades véase X 2.1 Regulación efectiva y rendición de cuentas. El punto de partida es una prestación fiable de un servicio objetivo/aspiracional, que permita al usuario disfrutar realmente del beneficio de los servicios. Este es el requisito previo para asumir todos los demás roles y responsabilidades, como respetar los términos y

condiciones, pagar tarifas y/o impuestos, respetar a otros usuarios, respetar al proveedor de servicios y participar en cuestiones de interés público; es decir, unirse a reuniones de partes interesadas, reuniones de consulta sobre nuevas mejoras de infraestructura o unirse al debate sobre una estructura tarifaria adecuada.

Esto implica que el hogar está en el centro de cada proceso de toma de decisiones, por ejemplo, en la selección del sistema de saneamiento más adecuado desde la interfaz con el usuario hasta la disposición final o reúso del efluente tratado.

El estudio de caso del Municipio de Tolata (Bolivia) demostró que la participación activa de la comunidad resolvió un problema que el Municipio no podía resolver solo: identificar el terreno requerido para la planta de tratamiento de aguas residuales. Fue ofrecido por agricultores cercanos a la

instalación, a cambio de acceso al efluente tratado.

De acuerdo, este es un escenario ideal. Sin embargo, establece la base del poderoso papel que juega la participación comunitaria. A veces se nota a través de las coincidencias afortunadas mencionadas anteriormente, y más a menudo se nota cuando los proyectos “fallan” en uno u otro sentido, antes o, peor aún, después de la construcción de la infraestructura.

Al involucrar a todas las partes interesadas relevantes, en particular a la comunidad objetivo, la participación comunitaria tiene como objetivo considerar la totalidad de las perspectivas y expectativas, ayudando así a encontrar e implementar la mejor solución de saneamiento ambiental posible. El compromiso real con la comunidad durante la planificación y la implementación puede garantizar una mejor apropiación del proyecto y fomentar la confianza y el capital social en un vecindario. Se han desarrollado muchas

metodologías y enfoques en las últimas décadas para facilitar la prestación exitosa de servicios y una relación confiable a largo plazo con la comunidad. Los ejemplos incluyen SARAR o PHAST y Saneamiento Ambiental Urbano Liderado por la Comunidad (CLUES por sus siglas en inglés). Una parte importante de la participación de la comunidad que la planificación y la toma de decisiones no pueden ignorar es el aspecto de valorar la experiencia local, el conocimiento indígena y la sabiduría del agua. “En todo el mundo, los pueblos indígenas ya gestionan muchos riesgos relacionados con el agua en un clima cambiante con conocimientos y soluciones tradicionales. En muchos casos, estas medidas se alinean con las acciones que los expertos en agua y clima consideran necesarias a escala mundial. Esta relación merece mayor atención y consideración dentro de los escenarios de acción climática nacionales y globales”. (SIWI, 2021).

Recuerdo: Experiencia Local, Conocimiento y Sabiduría Indígena

No hay falta de conciencia internacional - se han logrado muchos avances a nivel de la ONU en los últimos 20 años, como la adopción de la Declaración sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (2007), los Derechos Humanos al Agua y Saneamiento (2010 y 2012) y la resolución sobre el derecho humano a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible adoptada por el Consejo de Derechos Humanos en 2021 (HRC/RES/48/13). Como se indica en la contribución del Foro Mundial del Agua al proceso de revisión del Foro Político de Alto Nivel sobre el ODS 6 en 2016:

- Aunque el cambio climático y los sistemas globales han creado grandes disparidades de salud y acceso a agua limpia en las Naciones Indígenas y sus comunidades, las soluciones se encuentran en el conocimiento y la práctica tradicionales.
- Si bien ya existen muchas convenciones, declaraciones y leyes con respecto a los derechos de agua en general, su implementación y cumplimiento son débiles.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 257

X B – Sensibilidad de género

El RSAP... enfatiza que también debe haber sensibilidad de género en la formulación de intervenciones y la ejecución de actividades, dada la manera desproporcionada en que las mujeres y los niños se ven afectados por las crisis del agua (p. 4).

Dados los impactos desproporcionados de la escasez de agua y los fenómenos meteorológicos extremos en las mujeres del Caribe, es muy importante que todas las intervenciones en el sector del agua y el saneamiento reconozcan y atiendan la necesidad de sensibilidad de género en la planificación, implementación, seguimiento y evaluación. Este es particularmente el caso con respecto a la intervención que está diseñada para aumentar la resiliencia a los impactos del cambio climático o reducir la exposición a los desastres naturales (RSAP, p.27).



Esta sección, con preguntas orientadoras está adaptada de la “Hoja informativa sobre agua, saneamiento y género” (sswm.info). Si bien las publicaciones actuales pueden ampliar el concepto de “sensibilidad de género” a “diseño inclusivo y equitativo (o universal)”, es decir, crear instalaciones y ofrecer servicios que puedan ser utilizados por todos, independientemente no solo del género sino también de la edad, la enfermedad o la discapacidad, las preguntas orientadoras son útiles para transmitir una actitud y comprensión para evitar efectos secundarios inesperados, como agregar cargas adicionales a algunos o que las instalaciones construidas no satisfagan las necesidades de todos (por ejemplo, de mujeres y niñas). La incorporación del diseño inclusivo y equitativo en el sector puede contribuir a su eficacia y eficiencia. Las siguientes preguntas guía pueden ser útiles en el proceso de integración de una perspectiva de género en la planificación, el diseño y la implementación del saneamiento sostenible. Siempre que sea apropiado, las preguntas pueden adaptarse para ser más inclusivas (más allá del género).

Análisis de género:

- ¿Ha investigado las cuestiones de género relacionadas con la provisión y el uso del saneamiento en el área del proyecto?
- ¿Son claras las necesidades, los intereses y las prioridades de las mujeres (y los hombres) con respecto al saneamiento?
- ¿Cuáles son los elementos específicos de género en las políticas y estrategias de saneamiento del gobierno, empresa o institución?
- ¿Utilizó una perspectiva de género para recopilar información? ¿Los datos recopilados están desglosados por sexo?

Aspectos institucionales:

- ¿Hay experiencia en desarrollo social, saneamiento y educación en higiene disponible en la organización, proyecto o equipo del programa?
- ¿Están las mujeres y los hombres plenamente involucrados en la organización y se han abordado con éxito los factores discriminatorios internos?
- ¿Existen limitaciones para que las mujeres y/o los hombres accedan a los recursos y los controlen?

Evaluación de impacto de género:

- ¿Los objetivos y actividades del programa tendrán un impacto en las desigualdades existentes entre mujeres y hombres, niños y niñas?
- ¿Cómo afectará el programa a mujeres y hombres? Por ejemplo, ¿sus cargas de trabajo disminuirán o disminuirán? su salud se vea afectada; beneficios económicos alcanzados. ¿Hay equilibrio de género en las cargas y beneficios?
- ¿Es el presupuesto sensible al género?
- Monitoreo y evaluación específicos de género: ¿Mide y monitorea los efectos separados en mujeres, hombres, niñas y niños? ¿Cómo?

Ubicación y diseño:

- ¿El diseño y la ubicación de las instalaciones de saneamiento reflejan las necesidades de mujeres y hombres?
- ¿Los baños están situados de tal manera que se garantice la seguridad física de las mujeres y las niñas?
- ¿El lugar está cerca de la casa y el camino es accesible y está bien iluminado?
- ¿Se construyen y mantienen inodoros separados para mujeres y hombres, niños y niñas (por ejemplo, en escuelas, fábricas, lugares públicos)?

Tecnología y recursos:

- ¿La tecnología utilizada refleja las prioridades y necesidades de mujeres y hombres?
- ¿Se cuenta con la planificación técnica y financiera para la operación y el mantenimiento continuos de las instalaciones? ¿Y cómo se involucran las mujeres?
- ¿Se han asignado fondos para instalaciones sanitarias separadas para niñas y niños, y para educación sobre higiene en los planes de estudios escolares? (Véase también campañas escolares)

Empoderamiento y toma de decisiones:

- ¿Se desarrolla la capacidad de las mujeres y se alienta su participación en la capacitación?
- ¿Están las mujeres y las niñas habilitadas para adquirir acceso a información, capacitación y recursos relevantes?
- ¿Hay equilibrio de género en la toma de decisiones?
- ¿Participan las mujeres en la planificación (incluida la ubicación y la calidad) y la gestión de los servicios de saneamiento?
- ¿Se han promovido mensajes de educación sobre higiene a través de grupos de mujeres, escuelas y clínicas de salud?

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 258



El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ... define el término resiliencia como “la capacidad social, económica y de los ecosistemas para hacer frente a un evento peligroso, tendencia o perturbación, respondiendo o reorganizándose de manera que mantengan su función, identidad y estructura esenciales, así como la biodiversidad en el caso de los ecosistemas” manteniendo también la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación. La resiliencia es un atributo positivo cuando mantiene tal capacidad de adaptación, aprendizaje y/o transformación” (IPCC 2022, p. 35)

El RSAP... proporciona un breve resumen de las principales condiciones marco, factores influyentes y desafíos para el sector de agua y saneamiento en el Caribe (Introducción + La Situación Actual, p. 6-26). La descripción de los impactos relevantes del cambio climático, los principales riesgos y costos de la inacción forman la base para la acción colectiva hacia la resiliencia

X C.1 El discurso internacional sobre cambio climático y resiliencia en el sector de saneamiento

El RSAP está respaldado por los cinco principales acuerdos adoptados por los estados miembros de la ONU en 2015 o poco después, para definir el futuro marco de desarrollo global hasta 2030: el Acuerdo de París, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Acción de la Agenda de Addis Abeba y la Nueva Agenda Urbana. Este capítulo proporciona una breve introducción a cuatro de los cinco acuerdos seguidos por una contribución más reciente al discurso internacional sobre la descripción general, que resume su relevancia para implementar el RSAP en el sector del saneamiento.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fueron adoptados en septiembre de 2015 por 193 países de la Asamblea General de la ONU como parte de la Resolución “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Los ODS especifican los objetivos y metas que deben alcanzarse para 2030, por ejemplo, hacia la erradicación de la pobreza y la protección del medio ambiente natural como parte de esa agenda. Tres de los ODS son más relevantes para el saneamiento urbano resiliente al clima:

ODS 6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

ODS 11: Hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

ODS 13: Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.

El Acuerdo de París fue adoptado en diciembre de 2015 por 195 países miembros de la ONU en París, Francia, como un tratado internacional legalmente vinculante sobre el cambio climático. Su objetivo es limitar el calentamiento global muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales. Esto se logrará a través de una serie de esfuerzos a nivel mundial, regional y nacional. El Acuerdo de París funciona en un ciclo de 5 años de acción climática cada vez más ambiciosa. Cada nación debe desarrollar sus sucesivas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés). A través de sus NDC, los países describen y comunican principalmente las acciones que planean tomar para reducir las emisiones de GEI para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. Las medidas planificadas de adaptación y construcción de resiliencia a nivel de país también se comunican en las NDC. Las NDC no son vinculantes. Sin embargo, proporcionan una indicación de las prioridades e intereses de la política nacional. Un análisis reciente mostró que den-



Figura 1: Principales agendas mundiales posteriores a 2015 (ilustración de ONU-Hábitat, 2020, p. 136)

tro de todas las NDC enviadas solo se han propuesto algunas acciones concretas con respecto al saneamiento.

El Acuerdo de París vuelve a enfatizar el papel de los Planes Nacionales de Adaptación (NAP por sus siglas en inglés) que se establecieron en el marco de Adaptación de Cancún. Los NAP se crearon para permitir que los países menos adelantados y otros países en desarrollo identifiquen las necesidades de adaptación a mediano y largo plazo y desarrollen estrategias y programas de implementación para abordarlas. El proceso del NAP se basaría en las actividades existentes, proporcionando una plataforma para la coordinación de los esfuerzos de adaptación a nivel nacional. Por ejemplo, Santa Lucía desarrolló un NAP (Plan Sectorial de Adaptación para el Agua) para el sector del agua, que incluye la orientación de las intervenciones de aguas residuales y lodos fecales bajo un clima cambiante a través del desarrollo de un plan maestro de aguas residuales y lineamientos. Hasta el momento, solo 22 países en desarrollo han presentado NAP.

El Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres (2015-2030) fue adoptado en marzo de 2015 como resultado de la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres en Sendai, Japón. El marco identifica cuatro áreas prioritarias para la acción, a saber:

Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres.

Prioridad 2: Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar el riesgo de desastres.

Prioridad 3: Invertir en la reducción del riesgo de desastres para **la resiliencia**.

Prioridad 4: Mejorar **la preparación** ante desastres para una respuesta eficaz y “reconstruir mejor” en la recuperación, rehabilitación y reconstrucción.

Debido a la importancia de la “resiliencia” para la planificación, toma de decisiones e implementación de sistemas de saneamiento en la Región del Gran Caribe, la terminología y los conceptos correspondientes reciben un poco más de espacio en la siguiente sección. El contenido es una adaptación del “Compendio de Tecnologías de Saneamiento en Emergencias”, presentado anteriormente en este compendio (p. 10).

Las medidas preventivas ayudan a reducir la gravedad de un desastre y simplifican la gestión de desastres. Muchas situaciones de emergencia siguen patrones predecibles y la mayoría de las regiones propensas a desastres son bien conocidas. Al mismo tiempo, los escenarios de desastres y crisis se están volviendo cada vez más complejos y las intervenciones de socorro reactivas tradicionales están

demonstrando ser insuficientes. Por lo tanto, la prevención o mitigación de desastres tiene un papel importante que desempeñar y debe ser considerado por los actores de desarrollo y socorro para abordar las vulnerabilidades subyacentes y desarrollar capacidades para hacer frente mejor a futuras crisis. Las medidas preventivas incluyen el fortalecimiento de la resiliencia, el aumento de la preparación en caso de una emergencia aguda y la reducción del riesgo de desastres (véase tabla 1). Estas son partes integrales tanto de la planificación del saneamiento como de las estrategias de desarrollo nacionales, regionales y locales.

Resiliencia En esencia, la resiliencia se puede describir como la capacidad de los países, comunidades, individuos u organizaciones que están expuestos a desastres, crisis y vulnerabilidades subyacentes para gestionar el cambio. Esto se puede lograr anticipando, reduciendo el impacto, afrontando y recuperándose de los efectos de la adversidad sin comprometer las perspectivas a largo plazo. Fortalecer la resiliencia requiere un compromiso e inversiones a más largo plazo. Necesita un análisis en profundidad de las emergencias anteriores, de las causas subyacentes de la vulnerabilidad y de los activos humanos, psicológicos, sociales, financieros, físicos, naturales o políticos existentes en los diferentes niveles de la sociedad. El objetivo es desarrollar medidas localmente apropiadas que puedan incorporarse a las estructuras y procesos existentes para aumentar la capacidad y habilidad de las partes interesadas involucradas y su potencial de auto organización. Los componentes importantes para mejorar la resiliencia incluyen el desarrollo de capacidades, la capacitación, la educación, la concienciación, la sensibilización y la promoción, así como la mejora de la solidez y la durabilidad de las tecnologías y los servicios de saneamiento implementados.

La robustez es la capacidad de una tecnología para proporcionar un resultado satisfactorio en un entorno variable. Es importante que en situaciones de emergencia, las tecnologías de saneamiento sean resilientes frente a fallas y sigan funcionando a pesar de las interrupciones (por cortes de energía, escasez de agua e inundaciones). Por lo tanto, es importante pensar, desde el principio de la planificación, en la solidez de la provisión de saneamiento. Dadas las incertidumbres, es recomendable considerar que

los sistemas de saneamiento sean funcionales frente a una variedad de escenarios posibles. Por ejemplo, las letrinas elevadas a prueba de inundaciones pueden evitar que los lodos se desborden durante las inundaciones; las plantas de tratamiento de aguas residuales deben tener desvíos de aguas pluviales. No existe una solución milagrosa para planificar una opción sólida de saneamiento. Cada tecnología tiene fortalezas y debilidades específicas según el contexto local y las habilidades y capacidades disponibles.

La durabilidad es la capacidad de una tecnología para durar mucho tiempo sin un deterioro significativo. Cuanto más dura, menos recursos se necesitan para construir reemplazos y las tecnologías más resistentes al desgaste, lo que reduce aún más los costos de operación y mantenimiento (O&M) junto con los riesgos de falla. Las tecnologías deben elegirse teniendo en cuenta las capacidades locales de operación y mantenimiento, reparación y disponibilidad de repuestos. En algunos casos, puede ser necesario elegir un nivel de servicio más bajo, para evitar tener equipos esenciales que no pueden repararse cuando se estropean (por ejemplo, bombas, trituradoras, etc.). Para aumentar la durabilidad de la mayoría de las tecnologías de tratamiento, se debe considerar un pretratamiento adecuado.

Preparación Las directrices de “Esfera” (aplicadas en la asistencia humanitaria) describen el término preparación como medidas de precaución tomadas en vista de escenarios anticipados de desastres o crisis para fortalecer la capacidad de respuesta inmediata de la población afectada y las organizaciones involucradas. La preparación es el resultado de las capacidades, las relaciones y los conocimientos desarrollados por los gobiernos, los organismos humanitarios, las organizaciones locales de la sociedad civil, las comunidades y las personas para anticipar y responder con eficacia al impacto de peligros probables e inminentes. Las personas en riesgo y las organizaciones e instituciones responsables deben poder realizar todos los preparativos logísticos y organizativos necesarios antes del evento potencial y saber qué hacer en caso de una emergencia. Además de los sistemas de alerta temprana y el desarrollo de planes de emergencia, se puede incluir el almacenamiento de equipos, así como la disponibilidad de posibles planes de evacuación.

Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres La Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) puede verse como un término general para todas las medidas preventivas, incluidas las descritas en resiliencia y preparación. Su objetivo es reducir los riesgos de desastres a través de esfuerzos sistemáticos para analizar y reducir los factores causales de los desastres. Los ejemplos de reducción del riesgo de desastres incluyen la reducción de la exposición a los peligros, la reducción de la vulnerabilidad de las personas y las propiedades, la gestión adecuada de la tierra y el medio ambiente y la mejora de los sistemas de preparación y alerta temprana. Un análisis de riesgo adecuado forma la base para medidas adecuadas de RRD. Evalúa la exposición potencial de las comunidades a estos riesgos, la vulnerabilidad social e infraestructural y la capacidad de las comunidades para hacer frente a los riesgos. La comunidad

internacional reconoce cada vez más la importancia del enfoque de RRD. Históricamente, los actores del desarrollo no han invertido significativamente en RRD y prevención, ya sea por falta de conciencia, falta de incentivos o falta de experiencia relacionada con emergencias. Por lo tanto, en los últimos años la RRD y la prevención de conflictos se han convertido en temas transversales que se abordan a través de instrumentos de ayuda, recuperación y desarrollo. Los servicios de saneamiento inadecuados o que no funcionan pueden causar desastres y, a su vez, las amenazas pueden degradar los servicios de saneamiento, lo que aumenta el riesgo de desastres. Por lo tanto, es inevitable tener en cuenta los posibles riesgos de desastres al establecer o desarrollar servicios de saneamiento, ya sea que se trate de ayuda, recuperación o desarrollo.

Tabla 1: Medidas preventivas, definiciones e implicaciones para la infraestructura de saneamiento

	Definición	Aspectos clave relacionados con la infraestructura de saneamiento
Resiliencia	Capacidad de países, comunidades, individuos u organizaciones que están expuestos a desastres, crisis y vulnerabilidades subyacentes para gestionar el cambio.	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de infraestructura de saneamiento robusta y duradera adaptada a las condiciones extremas locales. • Desarrollo de capacidades sobre cómo construir, reparar, operar y mantener la infraestructura de saneamiento. • Medidas de sensibilización y promoción de la higiene. • Establecimiento de estructuras comunitarias (comités WASH y clubes de salud)
Preparación	Medidas cautelares para fortalecer la capacidad de respuesta inmediata de la población afectada y de las organizaciones involucradas.	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de contingencia y planes de preparación para emergencias que incluyan cómo lidiar con las aguas residuales cuando las redes de alcantarillado no funcionan y cómo lidiar con la contaminación fecal de las fuentes de agua. • Acopio de equipos de saneamiento y disponibilidad de materiales/ infraestructura. • Servicios de emergencia y acuerdos de reserva. • Establecimiento de redes de apoyo entre diferentes regiones. • Desarrollo de capacidades y capacitación de voluntarios y personal de emergencia. • Fortalecimiento de las estructuras locales a través de la planificación y capacitación comunitaria.
Reducción de Desastres	Todas las medidas preventivas (incluidas la resiliencia y la preparación) que tienen como objetivo reducir los riesgos de desastres a través de esfuerzos sistemáticos para analizar y reducir los factores causales de los desastres.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto potencial de los eventos peligrosos en los equipos y los servicios de saneamiento (resiliencia y mitigación) • Asegurar un nivel de servicio rápido y la recuperación de la estructura de los equipos y los servicios de saneamiento después de eventos peligrosos (preparación) • Garantizar que el diseño del sistema de saneamiento aborde las vulnerabilidades anteriores (reconstruir mejor y resiliencia) • Garantizar que los servicios de saneamiento tengan efectos negativos mínimos para la sociedad (no dañar)

La Nueva Agenda Urbana de Hábitat III

El principal objetivo y resultado de Hábitat III, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (Quito, Ecuador, 2016) fue el acuerdo de los estados miembros de la ONU sobre la Nueva Agenda Urbana (NAU), que sirve como guía para el desarrollo urbano hacia 2030 y más allá. La NAU brinda una guía clara sobre cómo la urbanización bien planificada y bien administrada puede ser una fuerza transformadora para acelerar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Con respecto a la GIRH (gestión integrada de los recursos hídricos), la NAU se compromete a “promover la conservación y el uso sostenible del agua mediante la rehabilitación de los recursos hídricos dentro de las áreas urbanas, periurbanas y rurales, **reduciendo y tratando las aguas residuales**, minimizando las pérdidas de agua, **promoviendo el reúso del agua** y aumentando el almacenamiento de agua, **retención y recarga**, considerando el ciclo del agua” (NAU 73).

En el frente de agua y saneamiento, la NAU destaca la importancia de “**sistemas de provisión de servicios e infraestructuras protectoras, accesibles y sostenibles de agua, saneamiento e higiene, alcantarillado, gestión de residuos sólidos, drenaje urbano, reducción de la contaminación del aire y gestión de aguas pluviales**, para mejorar la seguridad en caso de desastres relacionados con el agua, mejorar la salud, (...) el acceso a un **saneamiento e higiene adecuados y equitativos** para todos y poner fin a la defecación al aire libre, con especial atención a las necesidades y la seguridad de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables (NAU 119). En la gestión del sector de agua y saneamiento, la NAU **se compromete a desarrollar la capacidad de los servicios públicos de agua y saneamiento para poder implementar sistemas sostenibles de gestión del agua (incluido el mantenimiento sostenible de los servicios de infraestructura urbana)** con el objetivo de eliminar las desigualdades y “promover y acceso equitativo a agua potable segura y asequible para todos y saneamiento e

higiene adecuados y equitativos para todos” (NAU 120).

La NAU también se compromete a **integrar las consideraciones de adaptación y mitigación del cambio climático** en los procesos de planificación y desarrollo urbano y territorial que tengan en cuenta la edad y el género, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero, **el diseño de espacios, edificios y construcciones, servicios e infraestructura y soluciones basadas en la naturaleza**; promover la cooperación y la **coordinación entre sectores**, así como desarrollar la **capacidad de las autoridades locales** para desarrollar e implementar planes de respuesta y reducción del riesgo de desastres, como evaluaciones de riesgo en la ubicación de las instalaciones públicas actuales y futuras” (NAU 101). Además, la NAU se compromete a **apoyar el acceso a fuentes de financiación para la mitigación y adaptación al cambio climático**, “incluido el Fondo Verde para el Clima, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el Fondo de Adaptación y los Fondos de Inversión Climática, entre otros” (NAU 143).



El estudio de saneamiento urbano resiliente al clima

surgió de la necesidad de abordar el saneamiento de manera más prominente y garantizar que no “se quede en el olvido”, como se cita a continuación. Por el contrario, el estudio argumenta que el saneamiento puede ser un impulsor crucial para la adaptación y mitigación del cambio climático salvaguardando la salud pública a través de inversiones en sistemas de saneamiento resiliente, creando así una economía sostenible en torno a los servicios de saneamiento, así como fomentando la innovación como un componente fundamental para combatir el cambio climático a escala mundial.

“La belleza del saneamiento es que toca todos los aspectos del desarrollo: salud, bienestar, dignidad, medio ambiente, agricultura, clima y más. Pero también es la maldición del saneamiento, que toca todos estos aspectos. Y a veces se queda en el olvido o queda atrapado por uno de estos aspectos” (Martin Gambrill, Banco Mundial, líder de la

iniciativa global “City Wide Inclusive Sanitation”, 23.6.2021, lanzamiento de la publicación “Climate Resilient Urban Sanitation”, <https://youtu.be/67p7bTx3Ozw>)

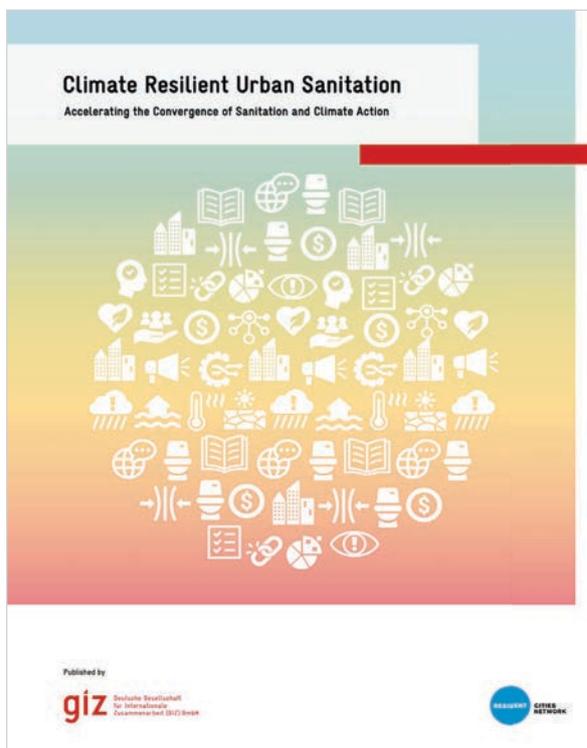
El estudio, que fortalece muchos de los argumentos del RSAP, es útil para los profesionales interesados en profundizar en el debate sobre el saneamiento urbano resiliente al clima y puede servir como recurso para desarrollar notas conceptuales y propuestas al respecto. Este capítulo concluye con las siguientes citas del estudio que reflexiona sobre el “Discurso Internacional sobre Cambio Climático y Resiliencia en el Sector Saneamiento”:

- No existe un plan para lograr la resiliencia climática para los sistemas de saneamiento urbano. El cambio climático se manifiesta de manera diferente en todo el mundo e incluso dentro de ciudades individuales. Las ciudades parten de diferentes niveles de preparación y capacidades al momento de enfrentar estos desafíos. No es solo la infraestructura de saneamiento la que debe ser resiliente a los impactos y tensiones en constante cambio, sino también los sistemas sociales, institucionales y físicos interconectados. Como dice el adagio, **“la resiliencia no es un estado final; es un viaje”**.

- El Marco de Resiliencia del Agua de la Ciudad (Arup 2019) sugiere que los sistemas resilientes tienen siete cualidades principales que permiten mantener la funcionalidad frente a los impactos y tensiones relacionados con el clima: reflexivos, robustos, redundantes, flexibles, ingeniosos, inclusivos e integrados.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 258



X C.2 Co-beneficios para una mejor resiliencia con soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

Puede ser difícil para los administradores de empresas de servicios públicos de aguas residuales comprender en qué condiciones pueden aplicarse tales Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN o NBS por sus siglas en inglés) y cuál es la mejor manera de combinar la infraestructura tradicional, por ejemplo, una planta de tratamiento de lodos activados, con una SbN como los humedales de tratamiento. Esta sección está adaptada de la publicación “SbN para el Tratamiento de Aguas Residuales” (Cross et al., 2021, 340 p.), presentada en la página 11 de este compendio. Las referencias técnicas, los estudios de caso y las guías que permiten a las partes interesadas comprender los parámetros de diseño, las eficiencias de eliminación, los costos, los co-beneficios tanto para las personas como para la naturaleza y las compensaciones para su consideración en su contexto local. Los autores en esta sección se citan como en Cross et al., 2021.

Las SbN, tal como las define la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, son “acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que aborden los desafíos sociales de forma eficaz y adaptativa, proporcionando al mismo tiempo beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad” (Cohen-Shacham et al., 2016). SbN se puede utilizar para tratar diferentes tipos de aguas residuales, incluidas aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, lixiviados y aguas pluviales. La aplicación de SbN en el tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo desarrollar sistemas de ingeniería que imiten y aprovechen el funcionamiento de los ecosistemas con una dependencia mínima de los elementos mecánicos. Las SbN utilizan plantas, suelo, medios porosos, bacterias y otros elementos y procesos naturales para eliminar los contaminantes de las aguas residuales, incluidos los sólidos en suspensión, los compuestos orgánicos, el nitrógeno, el fósforo y los patógenos (Kadlec y Wallace, 2009).

Tabla 1: Co-beneficios con soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales (según Cross et al., 2021)

Co-beneficio	Definición	Fuente
Biodiversidad (fauna)	Variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas. Todos los animales (reino Animalia), hongos (hongos) y cualquiera de los diversos grupos de bacterias	
Biodiversidad (flora)	Variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas. Cualquier organismo del reino Plantae.	
Polinización	La polinización animal es un servicio ecosistémico proporcionado principalmente por insectos y algunas aves y murciélagos. La polinización es esencial para el desarrollo de frutas, verduras y semillas.	TEEB (2010)
Secuestro de carbón	El proceso de extraer carbono de la atmósfera y depositarlo en un reservorio o sumidero de carbono (como océanos, bosques o suelos) a través de procesos físicos o biológicos, como la fotosíntesis.	UNFCCC (2021)
Regulación de la temperatura	La regulación de la humedad y las temperaturas localizadas durante condiciones de clima cálido, incluso a través de la ventilación y la transpiración.	Haines-Young y Potschin (2018); Baker et al. (2021)
Mitigación de inundaciones	La regulación de los flujos de agua en virtud de las propiedades o características químicas y físicas de los ecosistemas que ayuda a las personas a administrar y utilizar los sistemas hidrológicos, y mitiga o previene daños potenciales al uso humano, la salud o la seguridad (p. ej., mitigación de daños como resultado de reducida en magnitud y frecuencia de inundaciones/tormentas).	Haines-Young y Potschin (2018)

Las SbN también tienen la capacidad de eliminar contaminantes emergentes como hormonas esteroideas y biocidas (Chen et al., 2019), productos de cuidado personal (Ilyas et al., 2020) o plaguicidas (Vymazal y Březinová, 2015). Se pueden combinar diferentes tipos de NBS para lograr la eficiencia de tratamiento deseada.

El uso de SbN para el tratamiento de aguas residuales puede contribuir a entornos más saludables al mejorar la calidad del agua y mejorar el entorno natural y los hábitats circundantes. Las áreas naturales y las SbN pueden promover la salud física y mental, el aire limpio y el agua limpia, y ayudar a mejorar la salud humana. Además, SbN puede proporcionar un atractivo estético y propiedades restauradoras, uniendo a las personas y fortaleciendo los lazos comunitarios. Los beneficios económicos incluyen costos más bajos de tratamiento de agua, costos reducidos de daños por inundaciones, pesquerías más saludables, mejores oportunidades recreativas, y mayor turismo y desarrollo económico. Para dar cuenta de tales beneficios, se requiere un análisis holístico de costo-beneficio (Elzein et al., 2016; WWAP, 2018).

Las SbN son multifuncionales y proporcionan muchos beneficios para el medio ambiente y la sociedad (Droste et al., 2017). La compilación valiosa realizada por Cross et al. (2021, p.10-12) incluye una descripción general que especifica 13 co-beneficios generados al utilizar SbN para el tratamiento de aguas residuales, de los cuales 6 se presentan en la tabla 1.

Esta información puede contribuir a los análisis de costo-beneficio de las SbN que dan cuenta de los beneficios más allá del tratamiento de la calidad del agua y pueden ser un paso esencial para lograr inversiones y apoyo eficientes en múltiples sectores (WWAP, 2018).

Costo reducido para el operador y el medio ambiente con SbN

Debido a la menor (o nula) maquinaria electromecánica y la entrada de reactivos químicos, SbN y otros sistemas de tratamiento alimentados por gravedad regularmente tienen no solo una menor huella de carbono sino también un menor costo de operación y mantenimiento en comparación con los sistemas de lodos activados convencionales.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 258



Figura 1: Clasificación de SbN a base de agua y de sustrato para el tratamiento de aguas residuales (según Cross et al., 2021) SbN en este compendio son 19 tecnologías: T.5-T10, T.16-T.18, R.1-R.9 y R.12 (identificables por este signo SbN).

X I Gobernanza del agua resiliente al clima

El RSAP explica claramente el tema de la gobernanza como “quizás el ingrediente más crítico para la implementación exitosa del Plan de Acción del Agua” en términos de “coordinación y colaboración interinstitucional e intersectorial”. Se observan deficiencias tanto a nivel de política nacional como de gobernanza general (Castalia, 2017).

Política nacional:

- Múltiples ministerios generalmente están involucrados en la formulación de políticas para el sector de agua y saneamiento, sin una coordinación o cohesión obvias.
- En varios países, la autoridad reguladora no tiene plenas responsabilidades reguladoras sobre el sector de agua y saneamiento.

El Ministerio responsable del agua es a menudo la agencia donde reside la autoridad final de toma de decisiones.

- Todos los países tienen un ministerio de finanzas que asigna fondos a la empresa pública de agua. Sin embargo, algunos países también otorgan la responsabilidad de aprobar las finanzas a otros ministerios.

Disposiciones de gobernanza:

- Las responsabilidades y los procedimientos no están bien definidos.
- Falta transparencia y participación de los consumidores.
- La autonomía gerencial es limitada en algunas empresas de agua.
- La planificación financiera no considera los costos de expansión y mejora de los servicios.
- Existen débiles incentivos para la eficiencia operativa.
- Los planes financieros a largo plazo rara vez se incluyen en las políticas sectoriales.

Como respuesta, RSAP ha establecido un conjunto de objetivos en torno a los cuales se identifican acciones a nivel nacional. Si bien los gobiernos nacionales y las empresas de agua son en gran parte responsables de estas acciones, el plan de implementación reconoce las dimensiones transversales y regionales comunes para las cuales la acción colectiva o colaborativa puede promover las mejores prácticas y reducir el tiempo, el esfuerzo y los costos.



Recuadro: La relevancia del liderazgo y la gobernanza para implementar el RSAP

En un blog, Evan Cayetano, especialista en agua y saneamiento del BID, comentó:

El 15.º Foro de Alto Nivel siguió a un taller regional realizado en febrero de 2020 en Montego Bay, Jamaica, que convocó a los jefes de empresas de servicios públicos de agua de toda la Cuenca del Caribe para brindar comentarios sobre el RSAP y compartir ideas sobre cómo poner el RSAP en acción. El taller regional también sirvió para identificar áreas de intervención que podrían ser apoyadas por el BID, el Banco de Desarrollo del Caribe y otros socios de desarrollo. Se reconoce que la financiación es una limitación importante para ampliar el alcance de la infraestructura de suministro de agua y saneamiento y fortalecer estos activos para reforzar la resiliencia al cambio climático, y con una gobernanza sólida, este desafío se puede superar mediante la participación del sector privado en asociaciones público-privadas y el acceso a préstamos concesionarios y subvenciones.

Más importante que los recursos financieros necesarios para apoyar el desarrollo sostenible y resiliente al clima del sector del agua en el Caribe es la visión, el liderazgo y el compromiso necesarios para llevar a cabo las acciones descritas en el 1º plan de implementación RSAP. Los formuladores de políticas deben equilibrar delicadamente su responsabilidad de proporcionar el derecho humano al agua para sus electores al tiempo que permiten la autonomía de gestión de los servicios públicos de agua para asignar recursos y realizar operaciones.

X 1.1 Ambiente institucional y regulatorio

En este punto, parece apropiado ilustrar los principios básicos de cómo funciona la prestación de servicios de saneamiento en una sociedad determinada y su contexto nacional, es decir, la interacción y las relaciones del poder político, la toma de decisiones, la administración y el poder ejecutivo, incluidos el cumplimiento y la rendición de cuentas. Comprender las funciones y responsabilidades de los diferentes actores involucrados en la prestación de servicios es un requisito previo para los planificadores y todas las partes interesadas por igual, gestionar las expectativas, identificar superposiciones o brechas y abordarlas.

El compendio se estructura a lo largo de la cadena del servicio de saneamiento siguiendo el flujo de los productos a través de cinco grupos funcionales desde la interfaz con el usuario (U) hasta el reúso y/o disposición final (R).

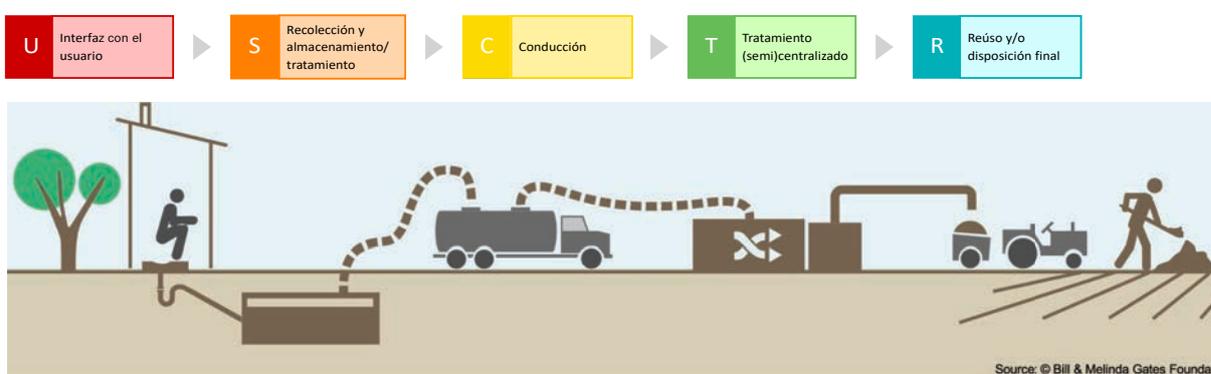


Figura 1: Cadena del servicio de saneamiento a lo largo de los cinco grupos funcionales

Pero cuando se trata de la planificación y la implementación, en otras palabras: la realización del derecho humano al saneamiento entre el titular “de hecho” y el titular “por derecho”, es fundamental comprender el entorno institucional y normativo, incluida la terminología correspondiente. Estas relaciones se ilustran en términos de una cadena de valor sociopolítica con cuatro eslabones, como sugieren Payen, AquaFed (Bos, 2016), adaptado por Reuter (Reuter, 2019):

1. El formulador de políticas tiene el deber de implementar el derecho humano al saneamiento
2. El administrador
3. El operador
4. El usuario, titular del derecho humano al saneamiento

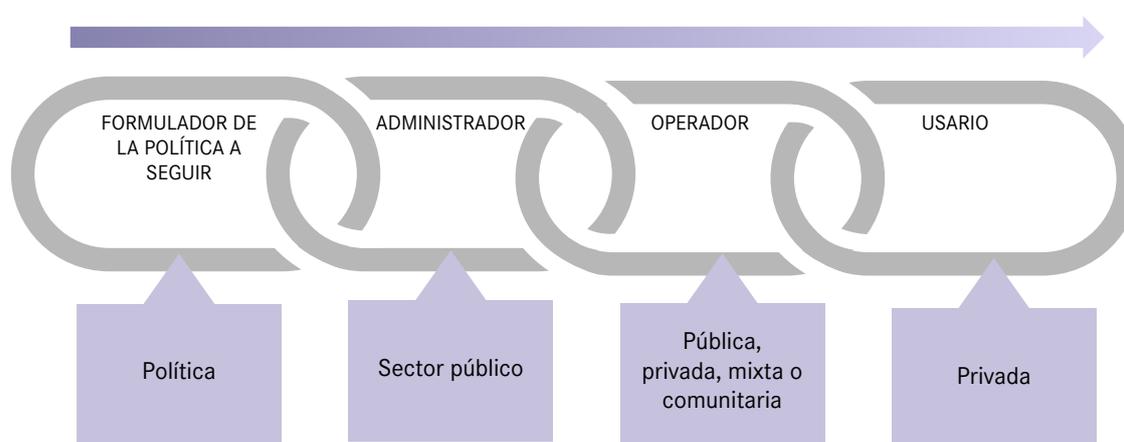


Figura 2: Actores políticos, públicos y privados en la cadena de valor sociopolítica

Para que la cadena funcione, cada eslabón debe ser distinto, fuerte, conectado a los demás y tirado en la misma dirección.

Comprender las diferentes funciones y responsabilidades de cada actor en esta cadena es esencial para entender el entorno institucional y normativo.

El formulador de políticas, elegido por el usuario, encomendado con poder político para representar al Estado y, por lo tanto, con el deber de implementar el Derecho Humano al Saneamiento (entre otros).

- Decide objetivos de política pública
- Establece políticas para la acción
- Asigna recursos públicos
- Establece tarifas y recuperación de costos
- Arbitra entre intereses divergentes
- Revisa los cambios en las condiciones
- Ajusta los objetivos políticos

El administrador:

- Brinda apoyo a los formuladores de políticas con planificación, información, opciones, etc.
- Tiene la tarea de implementar la política pública a través de la contratación pública y la aplicación/cumplimiento
- Tiene la tarea de regular los servicios en términos de aspectos financieros/contables, técnicos y de calidad
- Proporciona la supervisión de los servicios, incluido el control del funcionamiento y la recogida de datos

El operador: Este vínculo representa a toda la “industria de servicios”, es decir, empresas de servicios públicos, fabricantes, contratistas, consultores, proveedores, asociaciones profesionales, etc., asumiendo algunas o todas las siguientes funciones y responsabilidades:

- Operación de rutina
- Relaciones con el cliente y la comunidad
- Mantener la infraestructura y el equipo
- Reparar/reemplazar activos
- Construir infraestructura
- Recuperación de costos operativos
- Gestión de proveedores y subcontratistas
- Proporcionar asesoramiento a los responsables de la formulación de políticas

El usuario:

- Disfruta del BENEFICIO de los SERVICIOS
- Respeta los términos y condiciones
- Paga el arancel y/o impuestos
- Respeta a otros usuarios
- Respeta al proveedor de servicios
- Participa en asuntos de interés público
- ... ¡Y vota al formulador de políticas!

El formulador de políticas representa y asume el poder político; el administrador representa a la autoridad pública; el operador representa a la industria de servicios de saneamiento, compuesta por entidades de carácter público, privado o mixto, con o sin fines de lucro, hasta prestadores de servicios de base comunitaria; y el usuario del servicio de saneamiento, generalmente como particular.

Las ciudades son el espacio predominante donde ocurre y se organiza la prestación de servicios. Por lo tanto, es importante señalar que esta cadena de valor sociopolítica puede aplicarse a los vínculos a nivel local, regional y nacional, por ejemplo, desde el alcalde municipal hasta el usuario, el jefe del gobierno regional o incluso nacional con las respectivas entidades e industrias, y hasta el usuario titular de derechos humanos, según el panorama legal en el país respectivo.

Como se menciona en el RSAP, las funciones y responsabilidades para regular y brindar servicios de saneamiento a menudo están fragmentadas entre varios ministerios y autoridades. Los impulsores de las políticas WASH en asentamientos urbanos informales incluyen la priorización de donantes y gobiernos junto con la acción colectiva local; sin embargo, la exclusión social, la fragmentación del sector, el estatus de tenencia incierto de los residentes y la insuficiencia de datos para la toma de decisiones impiden políticas efectivas (Narayan et al., 2021).

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 259

X 1.2 Trabajar con normas y directrices existentes

Este capítulo trata sobre los estándares a los que se hace referencia en la actividad 1.1.5 del RSAP: “Establecer un regulador nacional independiente de servicios públicos de agua en cada Estado miembro, con el mandato de establecer y monitorear estándares o puntos de referencia, proteger los intereses de los consumidores y establecer tarifas basadas en buenas prácticas económicas reflejando consideraciones de sostenibilidad social y ambiental”. La introducción de nuevos sistemas de saneamiento implica nuevos productos, nuevos modelos de negocio y ofertas de servicios que requieren consenso a todos los niveles sobre lo que se considera “de última generación”, es decir, la definición de umbrales entre calidad aceptable e inaceptable: el nuevo “estándar” ayuda gestionar las expectativas y generar confianza entre las partes interesadas.

Existen estándares mínimos para la descarga de aguas residuales tratadas en cuerpos de agua, que están regulados por las autoridades nacionales, a veces

mediante la ratificación de protocolos internacionales. También existen estándares para la calidad de un producto o servicio que pueden ser definidos de forma voluntaria por las partes interesadas de acuerdo con un enfoque acordado y aceptado. Tanto los estándares legales como los voluntarios son esenciales para generar confianza entre las partes interesadas al garantizar la calidad de productos, procesos y servicios seguros, un requisito previo para crear seguridad en las inversiones.

En este capítulo se examinan tres normas y directrices pertinentes:

1. El protocolo FTCM del Convenio de Cartagena, que regula los estándares de descarga de aguas residuales domésticas
2. Normas ISO que regulan productos y procesos de saneamiento sin alcantarillado
3. Una guía y un proceso de certificación para la producción sostenible de biochar

X 1.2.1 Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del Convenio de Cartagena (Protocolo FTCM)

El marco legal regional más importante en materia de contaminación ambiental marina es el Convenio de Cartagena y sus tres Protocolos. La Convención entró en vigor en 1986 y es un acuerdo multilateral ambiental (AMA) legalmente vinculante para proteger y desarrollar la RGC (www.unep.org/cep/who-we-are/cartagena-convention). Hasta la fecha, 26 países han ratificado o se han adherido a la Convención.

El Protocolo Relativo a la Contaminación Proveniente de Fuentes y Actividades Terrestres (Protocolo FTCM, o LBS Protocol en inglés: Land Based Sources) del Convenio de Cartagena fue adoptado en Oranjestad, Aruba, el 6 de octubre de 1999 y entró en vigor el 13 de agosto de 2010. El Protocolo es el acuerdo más importante de su tipo. Ha sido ratificado por 15 países, lo que hace que sus estándares sean legalmente vinculantes. Incluye limitaciones de efluentes regionales para “aguas residuales domésticas” (Anexo III) y requiere el desarrollo de planes para abordar las fuentes agrícolas no puntuales de contaminación. Los cronogramas específicos para la implementación también se incluyen en el Protocolo. El Protocolo FTCM permite a los

países desarrollar y adoptar futuros anexos para abordar otras fuentes prioritarias de contaminación terrestre. En el Anexo III, “aguas residuales domésticas” significa todas las descargas de hogares, instalaciones comerciales, hoteles, aguas residuales y cualquier otra entidad cuya descarga incluya lo siguiente: (a) descarga de inodoros (aguas negras); (b) descargas de duchas, lavabos, cocinas y lavanderías (aguas grises); o (c) descargas de pequeñas industrias, siempre que su composición y cantidad sean compatibles con el tratamiento en un sistema de aguas residuales domésticas. Según su vulnerabilidad, los cuerpos de agua receptores se dividen en dos clases (véase tabla 1).

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 259

Tabla 1: Límites de efluentes para aguas residuales domésticas según el Anexo III del Protocolo FTCM

Parámetro	Efluente límite aguas clase I	Aguas clase II
Sólidos totalmente suspendidos	30 mg/l*	150 mg/l*
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	30 mg/l*	150 mg/l*
pH	5-10 unidades de pH	5-10 unidades de pH
Grasas, aceite y grasa	15 mg/l	50 mg/l
Coliformes fecales (las partes pueden cumplir con las limitaciones de efluentes ya sea para coliformes fecales o para E. coli (agua dulce) y enterococos (agua salada))	Coliformes fecales: 200 mpn/100 ml; o a. E. coli: 126 organismos/100 ml; o b. enterococci: 35 organismos/100 ml	n/a
Flotantes	no visible	no visible

* no incluye algas de lagunas de tratamiento

No hay limitaciones de efluentes para los nutrientes en la tabla 1, aunque,

- globalmente, los ciclos naturales del nitrógeno y el fósforo se han alterado significativamente (véase el concepto de “límites planetarios” introducido en la página 8), y
- a nivel regional, el nitrógeno y el fósforo se identifican como contaminantes primarios de preocupación en el Anexo I; y en el Anexo III, las partes contratantes están obligadas a: “tomar las medidas apropiadas (en la medida de lo posible) para controlar o reducir la cantidad total de nitrógeno y fósforo que se vierte en el área del convenio o que puede afectarlo negativamente”.

Si bien la principal fuente de nutrientes proviene del uso excesivo y la aplicación inadecuada de fertilizantes, se debe regular el impacto de las fuentes puntuales como las descargas de las PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales, véase también el reporte inglés SOCAR [Estado del área del Convenio de Cartagena], 2019).

En consecuencia, la Secretaría del Convenio de Cartagena debe “Recomendar y facilitar las enmiendas necesarias al Protocolo FTCM para cubrir explícitamente los nutrientes y los vínculos entre el estado de las aguas costeras del Área del Convenio con las actividades y prácticas del sector aguas arriba”. Esto se refleja en el Marco de Acción para el período 2021-2025 de la “Estrategia y Plan de Acción Regional para la Reducción de la Contaminación por Nutrientes para la Región del Gran Caribe” (junio de 2021), respaldado por un “Documento Técnico sobre Criterios Propuestos para Descargas de Nutrientes para Efluente de Aguas Residuales Domésticas” (desarrollado en nombre del Proyecto GEF CReW+ en junio de 2021 con límites de efluentes sugeridos para el nitrógeno total en las grandes PTAR en el rango de 5 a 10 mg/l).

X 1.2.2 Normas ISO para sistemas y tecnologías de saneamiento de este compendio

Desde la publicación de la 2.^a edición del compendio en 2014, se han realizado avances significativos con la publicación de tres normas ISO muy relevantes. Los estándares en sí mismos son una colección de mejores prácticas, que promueven la compatibilidad de productos, identifican problemas de seguridad y comparten soluciones y conocimientos. Las normas ISO son documentos técnicos que representan un consenso internacional de expertos y países sobre diseño, nivel de rendimiento y operación.

Propósito de las normas Las normas ISO existen para ayudar a las industrias a adoptar prácticas que ayuden a enderezar y estandarizar sus procedimientos internos. En cualquier escala de negocio industrial, comprender las ventajas de los estándares y el concepto de Plan de gestión de calidad (QMP por sus siglas en inglés) puede conducir a un buen número de ventajas comerciales, reducción de desperdicios, eficiencia mejorada y menor costo de producción. Las normas ISO ayudan a hablar el mismo idioma en todo el mundo. Facilitan la difusión de conocimientos y buenas prácticas. Las normas ISO facilitan la innovación y limitan la duplicación de esfuerzos, ya que definen la línea de base.

La certificación de una norma ISO es una marca de calidad y procedimientos sólidos, independientemente de la industria o el país de origen de una instalación. Las pautas y los requisitos de ISO obligan a una empresa a iniciar, documentar y cumplir con varios estándares organizacionales complicados. La obtención de una certificación ISO puede ayudar a las organizaciones a lograr los objetivos de producción al forzar la introducción de planes de operaciones, calidad y gestión verificados de forma independiente. Las organizaciones con certificación ISO también disfrutan de un mayor sentido de legitimidad. La certificación significa que una parte independiente calificada ha revisado sus programas y ha certificado el cumplimiento. En algunos campos, la certificación puede no ser necesaria, pero en muchas industrias profesionales, la certificación ISO es la norma para todos los clientes y competidores.

Con la disponibilidad de la **norma de servicios de gestión ISO 24521** (Directrices para la gestión de los servicios básicos de aguas residuales domésticas *in situ*), las partes interesadas pueden acordar mejores estándares de calidad, p. ej. para la gestión segura de lodos fecales de fosas sépticas (véase figura 1). La exitosa introducción y aplicación de este estándar en el municipio de Mahalaxmi, Lalitpur, Nepal, fue documentada por la Asociación de gestión de lodos fecales en <https://youtu.be/mSKRbJ2946Y> (Min 24:22 ff.).

ISO 30500 es un estándar de producto, publicado en octubre de 2018 para sistemas de saneamiento sin alcantarillado (NSSS), que proporciona requisitos generales de seguridad y rendimiento para el diseño del producto y pruebas de rendimiento, así como consideraciones de sostenibilidad de unidades de tratamiento integradas prefabricadas que no están conectadas a una red de alcantarillado o sistema de drenaje. Este estándar aborda las necesidades básicas de saneamiento y promueve la sostenibilidad económica, social y ambiental a través de estrategias que pueden incluir la minimización del consumo de recursos (por ejemplo, agua, energía) y la conversión de desechos humanos en productos seguros.

La norma ISO 30500 es aplicable al desarrollo de sistemas de saneamiento que no están conectados a redes de agua y electricidad; también se puede aplicar a sistemas que pueden utilizar redes de agua y/o electricidad. También define el insumo tratable básico principalmente como excrementos humanos y ofrece opciones para ampliar la gama de sustancias de entrada. Se establecen requisitos de calidad de las salidas del sistema de saneamiento

para vertidos sólidos y líquidos, emisiones de olores, aire y ruido. ISO 30500 lleva los criterios de seguridad, funcionalidad, usabilidad, confiabilidad y mantenibilidad del sistema, así como su compatibilidad con los objetivos de protección ambiental. La ISO 30500 también se enfoca en cortar la cadena del servicio de saneamiento en la etapa de contención, por lo tanto, con el tratamiento realizado en el sitio, eliminando las etapas de vaciado y transporte (véase figura 1).

ISO 31800 es un estándar de producto, publicado en 2020 para unidades de tratamiento de lodos fecales sin alcantarillado con el propósito de especificar los requisitos de rendimiento y seguridad de las unidades de tratamiento de lodos fecales de recuperación de recursos a escala comunitaria que sirven a aproximadamente, entre 1000 y 100 000 personas. Su objetivo es especificar los requisitos técnicos y las recomendaciones para dichas unidades de tratamiento en términos de rendimiento, seguridad, operabilidad y mantenibilidad. Respectivamente, la norma tiene por objeto garantizar el rendimiento, la seguridad y la sostenibilidad de las unidades de tratamiento de lodos fecales de recuperación de recursos a escala comunitaria, así como la solidez técnica y la seguridad en términos de salud humana y medio ambiente.

Los beneficios de adoptar las normas ISO para sistemas de saneamiento sin alcantarillado La adopción de estándares como el anterior tiene beneficios para todas las partes interesadas involucradas: (1) reguladores/formuladores de políticas, (2) fabricantes y (3) usuarios (consulte las funciones anteriores).

- 1. Los reguladores y los encargados de formular políticas** pueden confiar en la opinión de expertos globales para garantizar la seguridad de un producto y/o un proceso de gestión para sus ciudadanos sin gastar su propio tiempo y dinero. Pueden acceder a la fuente de información y experiencias constantemente actualizada de todo el mundo.
- 2. Los fabricantes** tienen un plan para usar con el fin de crear un producto y/o un servicio que cumpla con las pautas internacionales, lo que facilita la entrada al mercado. La adopción de estándares de productos también aumenta la capacidad de fabricación para que esté ampliamente disponible para el mercado y se implemente en los lugares de necesidad.

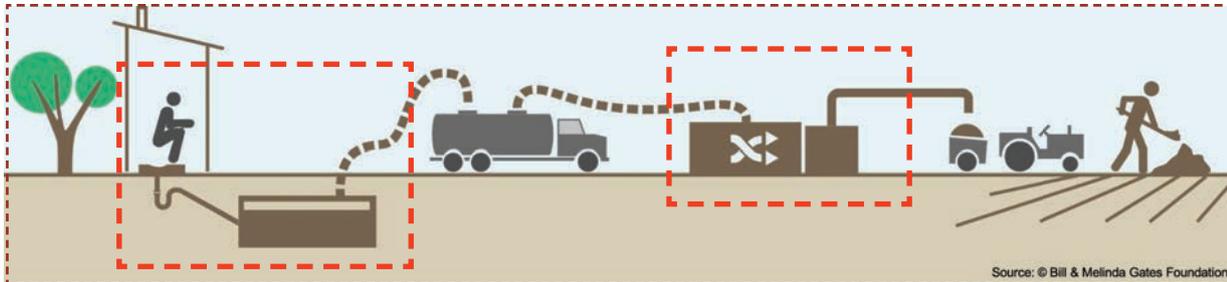
...

3. Los usuarios tendrán una mayor confianza en un producto y/o un proceso de gestión, reflejando un consenso de reguladores, fabricantes y usuarios de todo el mundo. Los usuarios pueden tener una experiencia digna, confiable, segura, higiénica, libre de olores que incluso puede generar subproductos que pueden ser reutilizados por la comunidad.

En el apartado “Tecnologías emergentes” (p. 148-151) se presenta un caso de estudio de un inodoro autónomo sin conexión es al alcantarillado según ISO 30500. Esta tecnología se encuentra actualmente en proceso de certificación.



ISO 24521 Norma de servicios de gestión “Directrices para la gestión de los servicios básicos de aguas residuales domésticas *in situ*”



ISO 30500 Estándar de producto
 “Sistemas de saneamiento sin alcantarillado -
 Unidades de tratamiento integradas prefabricadas”
 = saneamiento *in situ*

ISO 31800 Estándar de producto
 “Unidades de tratamiento de lodos fecales”
 = Tecnología de tratamiento fuera sitio

Figura 1: El papel de varias normas ISO de productos y gestión en la cadena de servicios de saneamiento

X 1.2.3 Directrices y proceso de certificación para la producción sostenible de biochar y sumideros de carbono a base de biochar

Otra área que emerge rápidamente para estándares voluntarios respaldados por un proceso de certificación es el procesamiento de lodos fecales con carbonización para producir un biochar de calidad garantizada y la certificación del potencial de sumidero de carbono del biochar. En enero de 2022, la Fundación Europea de Biochar actualizó el “Certificado Europeo de Biochar - Directrices para una Producción Sostenible de Biochar” de 2012 (EBC, 2022). Estas pautas proporcionan un mecanismo de evaluación basado en las últimas investigaciones, prácticas y legislación. Al exigir el uso de este sistema de evaluación, el Certificado Europeo de Biochar (EBC) permite y garantiza la producción, el procesamiento y la venta sostenibles de biochar. Se presenta para brindar a los clientes un estándar de calidad confiable, al tiempo que brinda a los productores la oportunidad de demostrar que sus productos cumplen con estándares de calidad bien definidos y reconocidos. Además, tiene como objetivo proporcionar una sólida transferencia de conocimientos de última generación como una base sólida para la legislación futura (por ejemplo, las regulaciones de fertilizantes de la UE o las regulaciones

de sumideros de carbono). Otra directriz de EBC puede servir como referencia para la certificación del potencial de sumidero de carbono del biochar a partir de lodos fecales (EBC, 2020). Los certificados de CO₂ vigentes suelen certificar la reducción de emisiones respecto a un escenario de referencia y así ayudar a evitar emisiones. Por otro lado, la certificación de sumideros de carbono garantiza el almacenamiento de carbono en el sistema terrestre, lo que puede ser verificado en cualquier momento. Los sumideros de carbono son, por tanto, el resultado de la eliminación activa de CO₂ de la atmósfera. Debe garantizarse un seguimiento completo y preciso por lotes de cada unidad de carbono secuestrada para garantizar la eliminación de CO₂ de la atmósfera y cuantificar los sumideros de carbono. Este seguimiento debe cubrir la eliminación de la atmósfera (captura de carbono), todos los transportes y transformaciones necesarias, y el almacenamiento final.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 259

X 2 Gestión de recursos hídricos resiliente al clima

El objetivo de este componente RSAP es garantizar la gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos, desde la cresta hasta el arrecife, mediante la adopción de los principios de la GIRH. La GIRH es una respuesta de adaptación a la reducción de los recursos hídricos y requiere la incorporación de conocimientos indígenas y locales sobre el uso y la gestión del agua con conocimientos científicos para garantizar la idoneidad cultural de los enfoques que se proponen y un mayor potencial para una implementación exitosa.



X 2.1 Saneamiento integral y gestión de aguas subterráneas

– Haciendo visible lo invisible –

La Actividad 2.2.2 de este componente del RSAP es “Reducir las fuentes de contaminación de las fuentes de agua, mediante la promulgación, cuando sea necesario, y el cumplimiento de la legislación y la educación pública rigurosa”. Este capítulo fue apoyado por SuSanA Working 11 “Protección de aguas subterráneas” y arroja luz sobre las aguas subterráneas y cómo integrar esta valiosa fuente de agua en los pasos de evaluación de la planificación del saneamiento. El agua subterránea es el agua que se encuentra bajo tierra en formaciones geológicas de rocas, arenas y gravas que pueden retener agua, llamadas acuíferos. Es muy importante porque apoya los suministros de agua potable, los sistemas de saneamiento, la agricultura, la industria y los ecosistemas. La extracción de agua subterránea representa la mayor proporción del suministro de agua, representando aproximadamente el 53 % del suministro (RSAP, p.18). El agua subterránea también juega un papel fundamental en la adaptación al cambio climático. La gestión sostenible de este preciado recurso necesita del cuidado y la acción colectiva de todos los miembros de la sociedad.

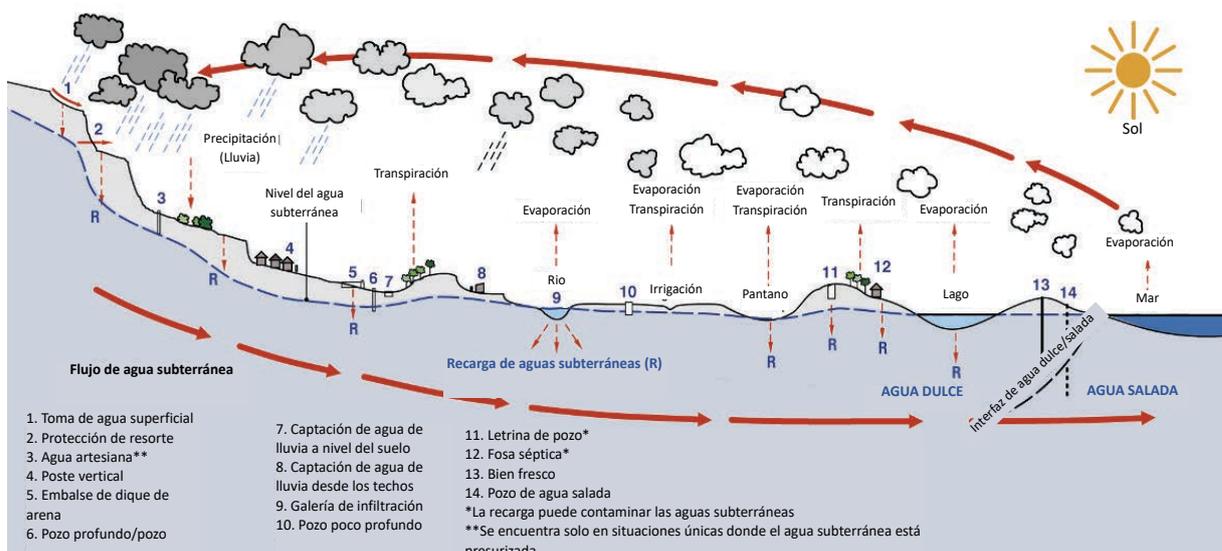


Figura 1: Flujo de aguas subterráneas y ciclo del agua de la cresta al arrecife

(Versión traducida de la ilustración diseñada originalmente por McMahon, G. y Chatterton, K., 2019)

Los profesionales de todos los sectores deben preocuparse más por las aguas subterráneas porque se están utilizando en exceso en muchas áreas, donde se extrae más agua de los acuíferos que la que se recarga con la lluvia o la nieve, y se contamina con aguas residuales domésticas e industriales sin tratar.

Por lo tanto, un conocimiento confiable de las condiciones existentes del suelo y las aguas subterráneas es esencial en la planificación del saneamiento y un factor clave en la selección de tecnologías apropiadas, especialmente donde los sistemas de saneamiento basados en infiltración como aplicación de efluente/irrigación (R.4), pozos de absorción (R.5), campos de lixiviación (R.6) y disposición de agua/recarga de agua subterránea (R.9). Los suelos con una alta

capacidad de infiltración pueden ser deseables desde una perspectiva de tecnología y costo, pero pueden ser indeseables desde una perspectiva de salud y seguridad, ya que aumentan el riesgo de contaminación del agua subterránea. Por otro lado, los suelos más compactos e impermeables, como la arcilla, pueden limitar severamente la infiltración y hacer que el drenaje sea casi imposible.

El principal peligro es la contaminación de las aguas subterráneas utilizadas para el agua potable por patógenos de origen fecal. Además, el nitrato de los sistemas de saneamiento *in situ* sin sellar también puede ser un peligro para la salud en áreas donde los acuíferos poco profundos se utilizan como fuente de agua potable.

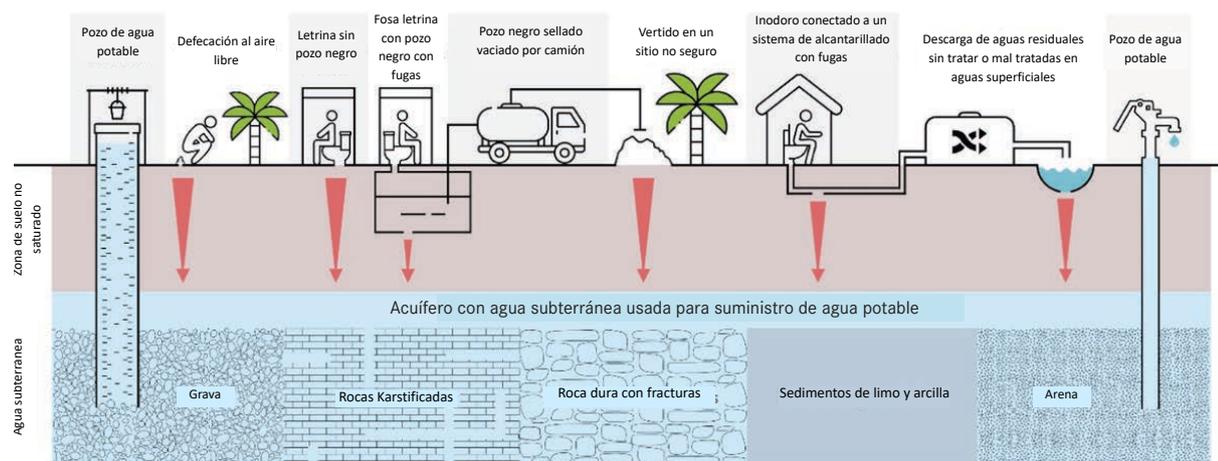


Figura 2: Fuentes potenciales de contaminación desde el saneamiento hasta las aguas subterráneas
(© SuSanA WG 11 / Athena Infonomics Infographic)

La construcción de asentamientos y el desarrollo de nuevas áreas de vivienda conducen a la pérdida de permeabilidad del suelo debido a la compactación y sellado del suelo. El resultado es un aumento de la escorrentía y un mayor riesgo de inundaciones. También se puede reducir la infiltración, lo que da como resultado una menor recarga de los acuíferos poco profundos. Al mismo tiempo, la instalación de nueva infraestructura de saneamiento aumenta el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Se deben considerar dos flujos de contaminación bacteriológica simultáneamente:

- contaminación a través del agua de escorrentía que fluye hacia un pozo de agua potable, y
- contaminación de las aguas subterráneas.

Donde no existan otras pautas o requisitos reglamentarios, las pruebas de percolación pueden proporcionar una orientación de primera mano para evaluar las condiciones locales con respecto a la velocidad de movimiento del agua contaminada a través del suelo (compendio de tecnologías de saneamiento en emergencias, p.163). También evaluar la textura del suelo (es decir, el contenido de arcilla) con una inspección manual en diferentes profundidades podría proporcionar información relevante de primera mano.

Como un camino a seguir, la Alianza de Saneamiento Sostenible (www.susana.org/en/working-groups/groundwater-protection) está introduciendo el concepto de Saneamiento Integrado y Gestión de Aguas Subterráneas

(ISGM por sus siglas en inglés), que aborda la toma de decisiones desde una perspectiva combinada de evaluaciones de salud, saneamiento y medio ambiente (Wolf et al., 2022).

Los componentes clave de ISGM incluyen:

- Evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea: ¿Qué tan bien está protegida naturalmente el agua subterránea por el suelo y los sedimentos y con qué facilidad transmite el acuífero los contaminantes?
- Evaluación del sistema de gestión de aguas residuales: Análisis de la cadena del servicio de saneamiento, especialmente en lo que se refiere a los puntos finales, lo cual puede incluir:
 - Mapeo espacial de los sistemas de saneamiento
 - Configuración de SFD para comprender los flujos volumétricos de materia fecal y aguas residuales y su disposición
- Evaluación del peligro de las aguas subterráneas: ¿Qué fuentes de contaminación (especialmente del saneamiento existente) existen y cuáles son las cargas (concentraciones) estimadas? ¿Cuál es la probabilidad de que ocurran eventos que puedan exacerbar la contaminación de las aguas subterráneas, por ejemplo, inundaciones o grandes derrames?
- Mapeo de la exposición a la contaminación del agua subterránea: ¿Qué zonas corren el riesgo de extraer agua subterránea contaminada (evaluada a través del mapeo de la fuente de agua potable y el mapeo de la ruta del flujo del agua subterránea)?
- Evaluación de riesgos de aguas subterráneas: combinación de vulnerabilidad, amenaza/probabilidad y mapeo de exposición para identificar puntos críticos de riesgo.
- Evaluación integrada de la gestión de aguas subterráneas y saneamiento: combinación de la evaluación de riesgos de aguas subterráneas y la planificación de zonificación de protección de aguas subterráneas (Clemens et al., 2020) con diferentes escenarios para mejorar los sistemas de saneamiento para la planificación a mediano y largo plazo (figura 3).

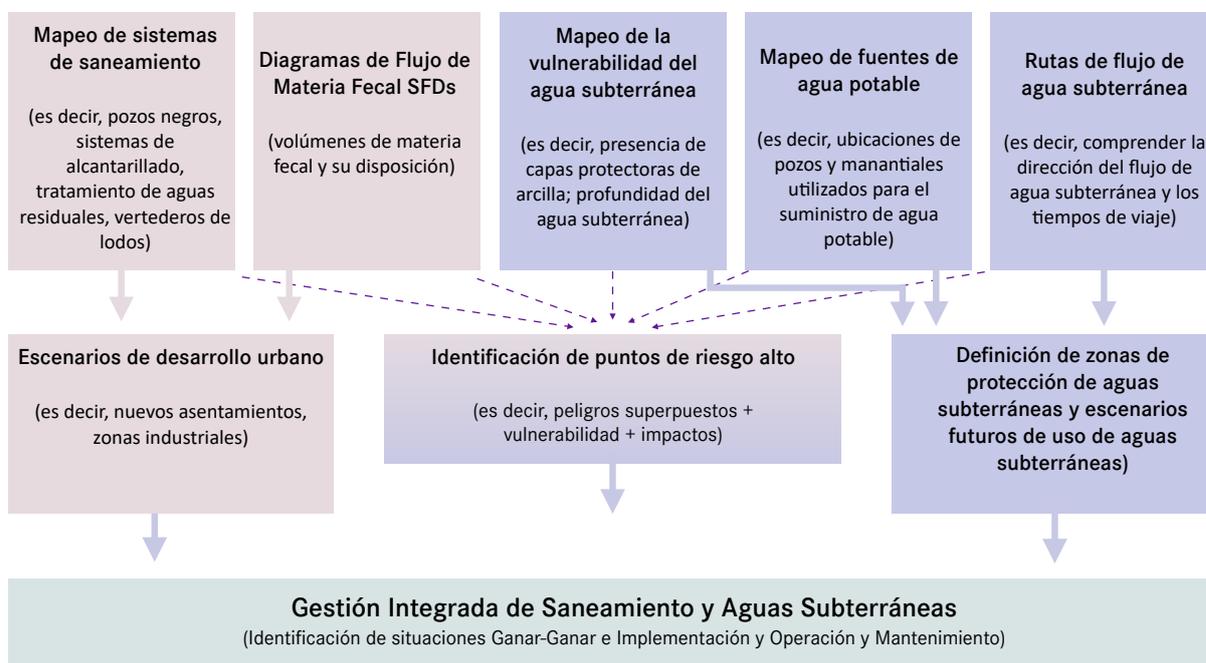


Figura 3: Marco conceptual para la gestión integrada de saneamiento y aguas subterráneas (SuSanA WG11, Wolf et al., 2022)

Se documenta un ejemplo instructivo de una evaluación integrada para un estudio de caso cerca de Irbid, Jordania (Clemens et al., 2020). Los autores combinaron una evaluación de riesgos de aguas subterráneas con una evaluación de gestión de tratamiento de aguas residuales para investigar diferentes escenarios, y para expandir los servicios de saneamiento y suministro de agua mientras

se protege la fuente de agua subterránea. Esto finalmente condujo a una evaluación de las soluciones más económicas y viables.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 260

X 2.2 Recarga de acuíferos administrados y almacenamiento y recuperación de acuíferos

La sección anterior abogó por el saneamiento integrado y la gestión de las aguas subterráneas con un enfoque en la protección de las aguas subterráneas. Dado que el RSAP enumera la “recarga de acuíferos” entre las muchas oportunidades para el reúso seguro de los efluentes tratados (RSAP p.16), este capítulo ilustrará brevemente las formas de reponer activamente los acuíferos con agua de lluvia. Es una opción importante para superar la pérdida de permeabilidad del suelo debido a la compactación y sellado del suelo en el entorno urbano construido. Las aguas residuales tratadas, bajo circunstancias y precauciones bien controladas, pueden ser parte de eso (R.9). Dos de estos conceptos son la recarga gestionada de acuíferos (MAR por sus siglas en inglés) y el almacenamiento y recuperación de acuíferos (ASR por sus siglas en inglés).

Ambos son procesos hechos por el hombre o procesos naturales mejorados por humanos que transportan agua bajo tierra. Los procesos reponen el agua subterránea almacenada en los acuíferos con fines beneficiosos. Aunque MAR y ASR a menudo se usan indistintamente, son procesos separados con objetivos distintos. MAR se utiliza únicamente para reponer el agua en los acuíferos. ASR se utiliza para almacenar agua, que luego se recupera para su uso, a través del mismo pozo (US EPA).

Particularmente relevante para las Zonas Costeras en el Caribe es el potencial de MAR para mitigar la intrusión de agua de mar mediante la creación de barreras hidráulicas.

La intrusión de agua de mar se define como la migración de agua salada del mar hacia acuíferos que están conectados hidráulicamente con el mar. Por lo tanto, la intrusión de agua de mar conduce a la salinización de los acuíferos de agua dulce a lo largo de las costas.

En lenguaje sencillo:

- Si la extracción de agua excede la tasa de recarga natural de agua dulce, o
- si los niveles de agua de mar están aumentando, el agua de mar ascenderá y se moverá tierra adentro penetrando el acuífero y rodeando el pozo (figura 4).

La reposición de aguas subterráneas o el aumento de las aguas subterráneas almacenadas en los acuíferos durante los períodos húmedos pueden contribuir a mejorar el suministro, la seguridad y la sostenibilidad del agua. El agua recuperada se puede utilizar para proyectos de suministro de agua potable, riego y restauración de ecosistemas, a menudo complementando el suministro de agua superficial. Económicamente, ASR puede ser considerablemente más barato y fácil de implementar que otros métodos de almacenamiento, es muy rentable si se compara con el desarrollo de fuentes alternativas de agua necesarias para el desarrollo.

A continuación, se hace referencia a información más detallada, incluidos estudios que abordan específicamente el contexto del Caribe.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 260

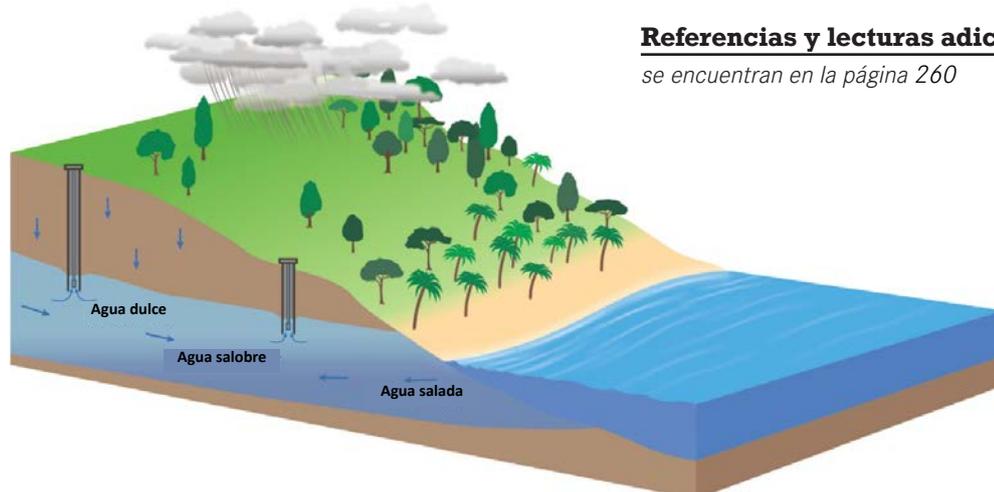


Figura 4: Modelo de un acuífero costero que ilustra la relación recíproca entre el agua de mar y el agua dulce (figura del Coerver et al., 2021)

X 2.3 Captación de agua de lluvia

La gestión moderna del agua se basa en gran medida en la transferencia de agua a larga distancia, que consume mucha energía y costo, para satisfacer la creciente brecha entre la oferta y la demanda de agua, incluida la sobreexplotación de los recursos de agua subterránea *in situ* o la muy costosa desalinización del agua de mar. Si bien menos del 1 % del suministro de agua del Caribe se extrae del agua de lluvia (RSAP p.18), su importancia aumenta a medida que la disponibilidad de agua se vuelve más limitada y la previsibilidad en un clima cambiante se debilita (RSAP 2.º plan de implementación, 2021, p. 8).

Para el funcionamiento sostenible de los sistemas y tecnologías de saneamiento, se debe evitar que el agua escurrida de los techos y otras superficies pavimentadas ingrese a las tecnologías de almacenamiento, conducción o tratamiento. De acuerdo con las interacciones entre las cadenas de servicios de agua y saneamiento descritas anteriormente y en el capítulo X 4.3, se deben prevenir los efectos indeseables mientras se deben promover y mejorar sistemáticamente los co-beneficios positivos.

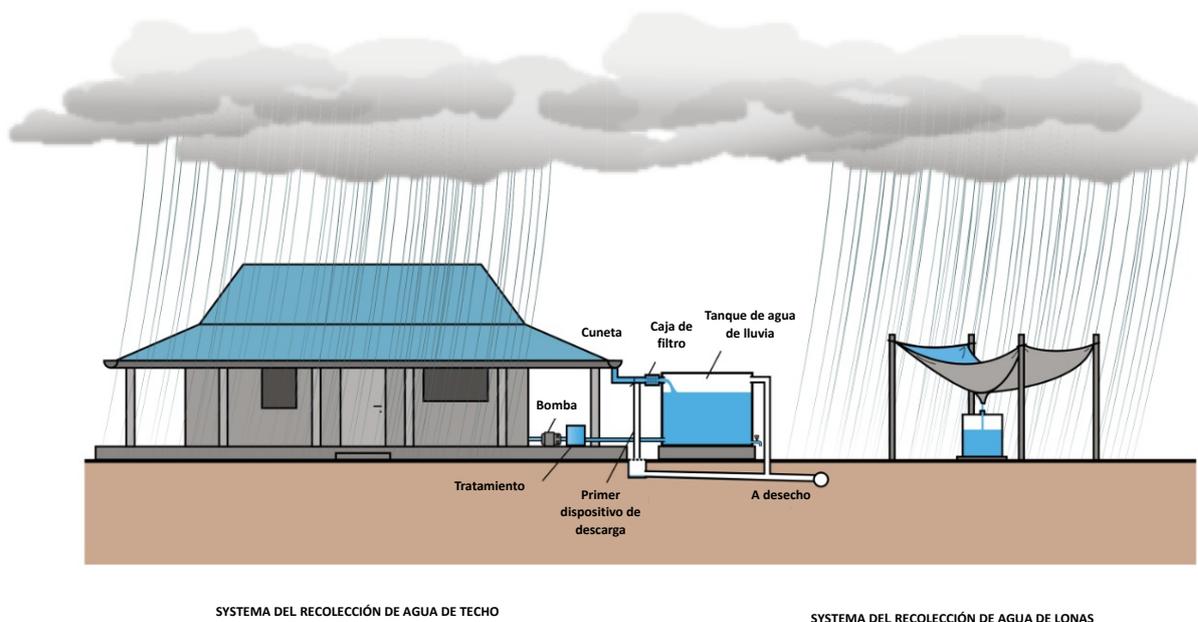


Figura 5: Captación de agua de lluvia en superficies elevadas

Un recurso importante es la Caja de herramientas de recolección de agua de lluvia del Caribe. Fue desarrollado por Global Water Partnership - Caribbean (GWP-C) en colaboración con otros socios, para difundir información sobre la recolección de agua de lluvia y mejorar el conocimiento sobre cómo diseñar e implementar sistemas y tecnologías en condiciones seguras y sanitarias. La caja de herramientas es una compilación de materiales de investigación y mejores prácticas aplicables a la región.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 261

X 3 Apoyo a la toma de decisiones informadas por el clima

En el RSAP, el objetivo general de este componente es “facilitar el desarrollo de una sólida base de evidencia que se utilizará para respaldar toda la formulación de políticas y la toma de decisiones en el sector del agua a nivel nacional y regional. La intención aquí es hacer que el mecanismo de apoyo a la decisión esté abierto a todas las partes interesadas, en diferentes niveles de entrada y acceso” (p.36).

El 2.º plan de implementación del RSAP enfatiza que “debe haber UN sistema de monitoreo y evaluación, a nivel de país, que permita el monitoreo y la evaluación continuos, con ajustes y refinamientos donde sea necesario, para asegurar que el Plan de Acción, con sus diversas actividades e intervenciones, está teniendo el impacto deseado” (p. 54).

La siguiente regla de tres se aplica al sector del saneamiento en todo el mundo:

1. Lo que se mide, se gestiona...
2. ..al menos, lo que no se mide, no se gestiona
3. actualmente, se mide muy poco

No se puede subestimar el valor y la importancia de este pilar del RSAP, junto con el papel de los servicios públicos municipales. Ambos se ilustran con los siguientes ejemplos:

X 3.1 Una lección basada en desarrollos institucionales, estándares y calidad de los ríos en el Reino Unido “La prisa indebida en la adopción de estándares que actualmente son demasiado altos puede conducir al uso de tecnología inapropiada en la búsqueda de objetivos inalcanzables o inasequibles y, al hacerlo, produce un sistema insostenible. Existe un gran peligro en establecer estándares y luego ignorarlos. A menudo es mejor establecer estándares apropiados y asequibles y tener un enfoque gradual para mejorar los estándares cuando sea asequible. Además, dicho enfoque le da al país la oportunidad de desarrollar sus propios estándares y le da tiempo suficiente para implementar un marco regulatorio adecuado y desarrollar la capacidad institucional necesaria para la aplicación”. (Johnstone, 1996)

Lecciones aprendidas: La adopción de estándares debe ir de la mano con las capacidades de seguimiento, evaluación y aprendizaje. Las mejoras incrementales sobre una base informada seguirán un enfoque por etapas, de acuerdo con los recursos financieros y la aplicación.



X 3.2 Una lección basada en cómo los “Estados Tigres” de Asia Oriental proporcionaron servicios de saneamiento en una generación “WaterAid ha analizado las historias de casos de algunos de los llamados Estados Tigre (Singapur, Malasia Occidental y Corea del Sur) para ver si hay indicadores instructivos para un sector que necesita repensar cómo lograr un cambio transformador. A primera vista, las condiciones iniciales en los estados de Asia oriental son tan marcadamente diferentes a las de los países menos desarrollados y más atrasados, que el valor de mirar los ejemplos de casos de Asia oriental puede parecer cuestionable, si no completamente irrelevante. Pero eso estaría mal. En 1960, cuando Corea del Sur tomó la decisión estratégica de impulsar el saneamiento total como elemento central de su estrategia de desarrollo nacional, sus niveles de ingreso per cápita eran inferiores a los de Ghana, Zambia y Senegal. Las entradas de ayuda de Corea del Sur también fueron menores que las de Ghana. Pero también la historia del desarrollo del saneamiento en el este de Asia desafía una suposición predominante que domina la política de desarrollo internacional, a saber, que el acceso al saneamiento es un resultado del desarrollo y no un impulsor de la salud pública y los bienes comunes. Para los Tigres de Asia Oriental, el saneamiento fue el centro de sus estrategias de desarrollo nacional. Fue formativo en su proyecto de construcción nacional. Entonces, ¿cómo lo hicieron? ¿Cuáles fueron algunos de los impulsores políticos y normativos que brindaron acceso universal al saneamiento y, lo que es más importante, prácticas de higiene? La investigación de WaterAid identificó al menos cinco características definitorias en la historia del saneamiento de Asia oriental que son útiles para considerar en el camino hacia el logro de la meta de los ODS sobre saneamiento en los países más atrasados.

(...) Quinto: las complejidades de la implementación en múltiples departamentos y políticas requirieron un proceso continuo y cíclico de monitoreo, análisis y, sobre todo, coordinación. Esto permitió a los gobiernos nacionales identificar las debilidades de desempeño e implementación y responder a los cuellos de botella con reformas y mejoras correctivas. En los países estudiados, la característica definitoria de incluso algunas de las políticas nacionales de saneamiento impulsadas de manera más centralizada fue un proceso de coordinación y monitoreo continuo a nivel local de los programas, desde el diseño a través de la cadena de suministro, hasta la implementación a nivel de proyecto, con un seguimiento continuo de reformas y mejoras.” (Northover, 2016)

X 3.3 Vincular el monitoreo local y la toma de decisiones con el progreso y la presentación de informes del ODS 6

Las metas relacionadas con el saneamiento y las aguas residuales para el ODS 6 son claras:

Meta 6.2. Para 2030, lograr el acceso a saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, las niñas y las personas en situación de vulnerabilidad.

Meta 6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertido y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratamiento

Sin embargo, la línea base no es clara. Las cantidades y calidades de lodos fecales y aguas residuales sin tratar se encuentran entre los servicios básicos menos monitoreados y documentados. Un recurso importante es el informe de 2021 “Progreso en el tratamiento de aguas residuales: estado mundial y necesidades de aceleración para el indicador 6.3.1 de los ODS”. Los dos mensajes citados a continuación resaltan el dilema de los servicios públicos municipales necesarios como fuente de datos junto con la falta general de conocimiento preciso sobre los volúmenes actuales de aguas residuales generadas y tratadas:

- Los servicios públicos de aguas residuales municipales son una fuente importante de datos informados consistentes, pero actualmente hay niveles extremadamente bajos de informes de estadísticas de aguas residuales industriales. La escasez de datos, particularmente para los sistemas de tratamiento independientes y los vertidos industriales, revela la baja prioridad otorgada a la gestión de la contaminación de estas fuentes.
- En general, se considera que más del 80 % de las aguas residuales se liberan en el medio ambiente sin un tratamiento adecuado (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos [WWAP], 2017 como se cita en ONU Hábitat y la OMS, 2021, p.2). Sin embargo, tales estadísticas se han basado en datos muy incompletos, y los análisis más recientes y exhaustivos han sugerido que poco menos del 50% de la producción mundial de aguas residuales se libera al medio ambiente sin tratamiento (Jones et al., 2021 como se cita en ONU Hábitat y la OMS, 2021, p.2).

Un estudio reciente también ha sugerido que se espera que la producción mundial de aguas residuales municipales aumente un 24% para 2030 y un 51% para 2050 sobre los niveles actuales (Qadir et al., 2020 como se cita en ONU Hábitat y la OMS, 2021, p.2). De hecho, hay una falta general de conocimiento preciso sobre los volúmenes actuales de aguas residuales generadas y tratadas para ejemplos (véase Sato et al., 2013 como se cita en ONU Hábitat y la OMS, 2021, p.2) porque el monitoreo es complejo y costoso, y los datos no se agregan sistemáticamente a nivel nacional y/o no se divulgan en muchos países, especialmente en el sector industrial (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible [WBCSD], 2020 como se cita en ONU Hábitat y la OMS, 2021, p.2). Una compilación anterior de estadísticas de tratamiento de aguas residuales de varias fuentes que cubren 183 países señaló que la falta de definiciones consistentes, protocolos de informes y un custodio central para los datos de tratamiento de aguas residuales fueron las principales razones detrás de los desafíos en la construcción de medidas de desempeño comparables (Malik et al., 2015, pág. 2).

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 261

X 4 Provisión de servicios de agua y saneamiento resilientes al clima

El RSAP reconoce claramente que las aguas residuales tratadas y los lodos de depuradora se ven cada vez más como un recurso potencial: “El reúso seguro de los efluentes tratados puede hacer que haya más agua disponible para la agricultura, la recarga de acuíferos, la acuicultura, la extinción de incendios, la descarga de inodoros, la refrigeración industrial, parques y campos de golf, riego, formación de humedales para hábitats de vida silvestre y otras necesidades de agua no potable. Además, los lodos de aguas residuales se pueden utilizar como fertilizante, para fabricar materiales de construcción y para generar biogás y biocombustibles (Sustainability Managers, 2016)”.

La planificación e implementación de sistemas y tecnologías de saneamiento con el objetivo de reutilizar el agua, la energía, los biosólidos y los nutrientes, como se presenta en este compendio, requiere no solo “coordinación y planificación interinstitucional e intersectorial” (X 1 Gobernanza del agua), sino también una “planificación partiendo del final” que permita obtener los co-beneficios, por ejemplo, mediante el reúso agrícola, el co-compostaje con residuos sólidos orgánicos o incluso la recarga de acuíferos con efluentes tratados.



Este capítulo destaca elementos esenciales relevantes para la planificación integrada y el desarrollo de conceptos para la prestación de servicios de saneamiento resilientes al clima:

- X 4.1** Planificación de los sistemas de saneamiento con potencial de reúso o recuperación de recursos como punto de partida desde la fase de concepción, es decir, planificación partiendo del final.
- X 4.2** Principios de costeo de los sistemas de saneamiento
- X 4.3** Otras áreas claves del saneamiento ambiental
- X 4.4** Operación y gestión efectiva de activos
- X 4.5** Financiamiento de saneamiento sensible al clima

X 4.1 Principios de planificación de sistemas de saneamiento

Los sistemas de saneamiento brindan servicios a las personas. Para ser sostenibles, estos servicios deben ser económicamente viables, socialmente aceptables, técnica e institucionalmente apropiados y protectores del medio ambiente y los recursos naturales. La tecnología y la infraestructura son solo los medios para brindar los servicios antes mencionados, por lo tanto, al planificar los servicios de saneamiento debemos adoptar un enfoque integral basado en los siguientes principios:

- Planificar los servicios de manera sostenible, atendiendo las necesidades de los usuarios
- Planificar los sistemas de saneamiento partiendo del final, y elegir las tecnologías adecuadas
- Garantizar la sostenibilidad financiera y la gestión eficaz

Plan de servicios sostenibles que atiendan las necesidades de los usuarios

El sector de agua y saneamiento ha centrado tradicionalmente sus esfuerzos en la ejecución de proyectos y la construcción de infraestructuras, prestando una menor atención a la prestación sostenible de los servicios. Según un informe del Banco Mundial (Kennedy-Walker et al., 2020), a pesar de los grandes esfuerzos de inversión en infraestructura, millones de hogares no se benefician de las inversiones en saneamiento porque un número significativo de hogares no se conectan a los sistemas de alcantarillado, a pesar de que están cerca de las líneas de alcantarillado y podría conectarse factiblemente. En el caso de Perú, esto representa el 34 % de los hogares peruanos. Además, el informe muestra que la mayoría de los hogares no conectados son pobres y no tienen la información que necesitan para conectarse. Por ejemplo, en Argentina, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Uruguay, las tasas de acceso son un 40 % más bajas para la quinta parte más pobre de

la población que para la quinta parte más rica. En Bolivia, el Inventario Nacional de PTAR mostró que el 52% de las 219 PTAR inspeccionadas no funcionaba correctamente y el 95% presentaba dificultades en su operación y mantenimiento.

Las grandes disparidades en la cobertura de alcantarillado en la región (véase las figuras 1 y 2) indican que los enfoques y estrategias convencionales y habituales para la prestación de servicios de agua y saneamiento no serán adecuados para enfrentar los crecientes desafíos establecidos por los ODS. Para cumplir y sostener efectivamente el ODS 6 para el 2030, será necesario en toda la región adoptar e integrar modelos innovadores para expandir, mejorar y sostener los servicios WASH (Sparkman, 2017). El paradigma del saneamiento urbano debe mejorarse, promoviendo una gama de soluciones técnicas, tanto *in situ* como alcantarilladas, centralizadas y descentralizadas, asegurándose de que sean adecuadas a las realidades locales y las necesidades particulares de los usuarios. En otras palabras, debemos centrarnos en la prestación de servicios en lugar de construir infraestructura o implementar proyectos, considerando las dimensiones financiera, institucional, política, regulatoria y social de los servicios, y armonizando las soluciones de saneamiento con los servicios urbanos relacionados (Gambrell, 2020). En la figura 3, presentamos algunos aspectos importantes a tener en cuenta al pasar de una mentalidad “*status quo*” de implementación de proyectos de negocios, a una mentalidad de “desarrollo de servicios”.

Servicios sostenibles

El principal objetivo de un sistema de saneamiento es proteger y promover la salud humana mediante la protección del medio ambiente y la prevención de enfermedades. A diferencia de un proyecto de construcción, los servicios de saneamiento no tienen una fecha de finalización; por el contrario, deben funcionar de forma permanente y sostenible desde las perspectivas ambiental, social y financiera. Se necesitan recursos para la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento. Por ejemplo, algunos sistemas necesitan mayores volúmenes de agua para funcionar que otros, o la demanda de energía puede variar mucho de una tecnología de tratamiento a otra. Reutilizar agua regenerada y recuperar nutrientes (N, P, K) o energía (biogás), hace que un sistema de saneamiento sea más respetuoso con el medio ambiente y más sostenible a largo plazo porque ahorra recursos naturales y/o tiene

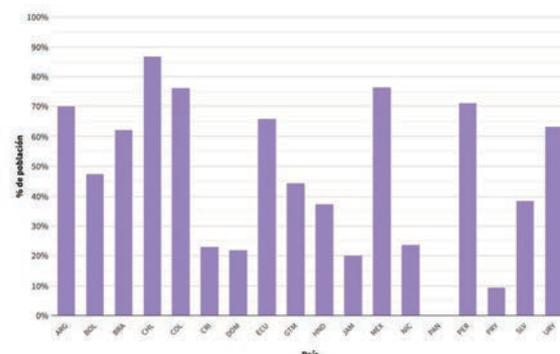


Figura 1: Proporción de hogares con instalaciones sanitarias conectadas a alcantarillas (www.olasdata.org)

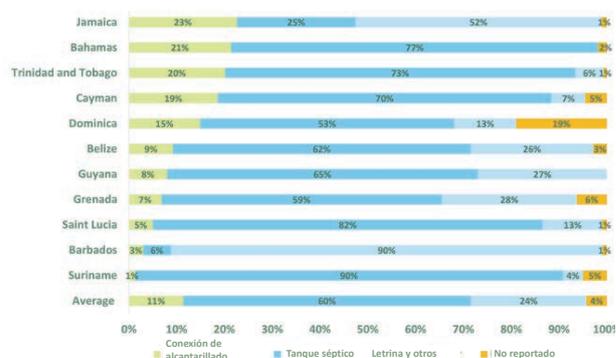


Figura 2: Porcentaje de tipo de recolección de aguas residuales por categoría (Caribbean Water Study 2021)

un impacto menor o incluso positivo en el entorno natural y construido (por ejemplo, fortaleciendo la resiliencia, mejorando la fertilidad del suelo, la capacidad de retención de agua de las cuencas, la preparación para desastres y el secuestro de carbono en el suelo).

Usuario y sus necesidades.

Los sistemas de saneamiento deben proteger al público de la transmisión de enfermedades y, al mismo tiempo, deben ser seguros para los usuarios y para los operadores. Desde la interfaz con el usuario hasta el uso o disposición final, todos los componentes de un sistema de saneamiento deben observar y cumplir con las normas y estándares nacionales en relación con la protección de la salud y la seguridad personal. Al planificar los sistemas de saneamiento, es importante tener en cuenta las necesidades, los impulsores y los desmotivadores de los usuarios. Las soluciones propuestas obtendrán el apoyo de la comunidad solo si los impulsores pesan más que los desmotivadores desde su perspectiva. La tabla 1 muestra algunos ejemplos de impulsores y desmotivadores.

Tabla 1: Impulsores y desmotivadores en relación con las ofertas de sistemas de saneamiento

Impulsores (motivadores)	Desmotivadores
<ul style="list-style-type: none"> • Comodidad y satisfacción • Mejor estatus social • Mayor valor de la propiedad • Evita ser multado • Reducción de la vergüenza en relación con la situación actual o los vecinos. • Contribución al desarrollo local • Ambiente más limpio/saludable • Problemas de salud/higiene 	<ul style="list-style-type: none"> • Miedo al cambio • Costos adicionales y facturas de servicios • No puede permitirse la inversión • Limitaciones de flujo de efectivo • No tiene una opinión o no es consciente de la opinión de los demás. • Desinformación • Quiere evitar los rumores sobre la riqueza personal • Quiere evitar daños a la propiedad causados por la conexión del hogar • Procedimientos y requisitos difíciles

Planificar los sistemas de saneamiento “partiendo del final” y elegir las tecnologías adecuadas

El primer paso es caracterizar, comprender y cuantificar todas las entradas y salidas del sistema de saneamiento. Todos los componentes del sistema (desde la interfaz humana hasta el uso o disposición final) deben estar diseñados para manejar los productos de saneamiento y deben integrarse funcionalmente en un proceso efectivo. Las interfaces con el usuario deben ser socialmente aceptables y deseables. Los sistemas de transporte deben planificarse de acuerdo con el tipo de producto a transportar, las condiciones geofísicas locales, incluido el tipo de terreno y la densidad de los hogares.

No hay residuos en las aguas residuales. Las aguas residuales son recursos de transporte de agua utilizados. Ambos pueden usarse si planificamos la recuperación y reúso adecuados de todos los productos de saneamiento. Este enfoque implica identificar y considerar todas las oportunidades de reúso o recuperación de recursos desde la fase de concepción del proyecto y luego trabajar el diseño del sistema hacia atrás, de ahí el término plan “partiendo del final”.

El nivel de tratamiento dependerá del destino, tipo de reúso o aplicación deseada. Por ejemplo, las aguas residuales tratadas que se vierten a un lago requieren un mayor nivel de tratamiento que las aguas residuales para su reúso en riego, ya que para descargar agua tratada a un cuerpo de agua sensible a la eutrofización (como es el caso del lago) los nutrientes presentes en las aguas residuales deben ser eliminados. Mientras que, en el caso del reúso en el riego de cultivos, estos nutrientes son beneficiosos para el suelo y las plantas y por tanto el nivel de tratamiento es más sencillo. En este segundo caso, el suelo y las plantas o cultivos finalizan el proceso de depuración del agua y



Figura 3: Desde la implementación del proyecto hasta el desarrollo del servicio

contribuyen a cerrar los ciclos del agua y los nutrientes de forma respetuosa con el medio ambiente.

Una vez definida la disposición final o reúso de todas las salidas del sistema de saneamiento y establecidos los niveles de tratamiento, los ingenieros y planificadores pueden evaluar diferentes tecnologías siempre y cuando cumplan con los requisitos.

Las tecnologías utilizadas en cada etapa de la cadena de saneamiento deben ser apropiadas para el contexto y las condiciones locales y deben tener en cuenta tanto las capacidades y los recursos existentes como las limitaciones locales. Al elegir tecnologías, se recomienda considerar los siguientes aspectos: costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, habilidades técnicas necesarias para su operación y mantenimiento, espacio requerido (área de huella), servicio/asistencia técnica local, disponibilidad y acceso a suministros y repuestos, consumo de energía y vida útil.

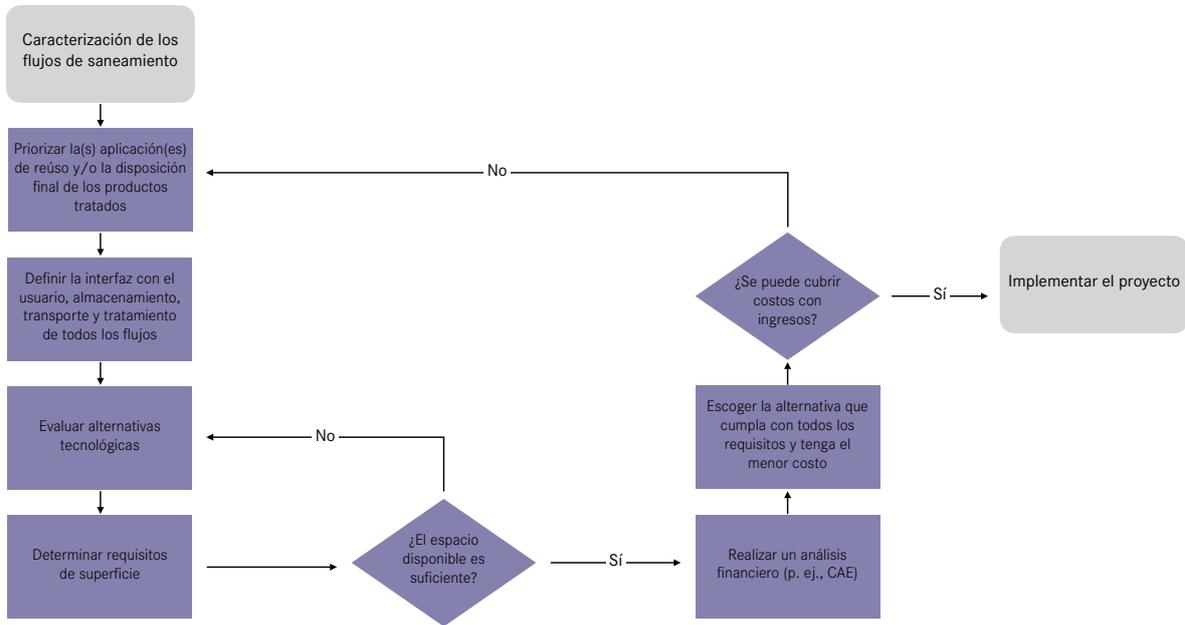


Figura 4: Planificar un sistema de tratamiento desde el final

Las tecnologías compatibles tendrán entonces que comprobarse frente a dos limitaciones adicionales: espacio y costo. La figura 4 explica este proceso iterativo a través del cual se puede planificar un sistema viable y optimizado. Un aspecto más: incluso si un recurso valioso (p. ej., la

orina o el agua de lluvia) no se puede gestionar de manera sostenible en las circunstancias actuales, puede ser recomendable permitir su uso futuro mediante disposiciones simples en los nuevos diseños de infraestructura (p. ej., inodoros de desviación de orina).

Garantizar la sostenibilidad financiera y la gestión eficaz

La sostenibilidad financiera se puede lograr cuando todos los costos están cubiertos por los ingresos. Los costos dependen en gran medida de las opciones tecnológicas, el uso de la energía, la necesidad de productos químicos y suministros y el costo del transporte. Además, la disponibilidad o el desarrollo de una mano de obra calificada en operación, supervisión y administración juegan un papel esencial y es de importancia estratégica para la gestión rentable y eficiente de nuevos activos. Es importante realizar un buen análisis financiero para determinar todos los costos que genera un sistema de saneamiento. Estos costos incluyen costos de inversión, pero también costos recurrentes de operación y administración (consulte la sección sobre principios de costos para obtener más información sobre cómo evaluar los costos y realizar un análisis financiero).

La gestión eficaz de un servicio de saneamiento requiere que las funciones y responsabilidades estén claramente definidas. Se deben realizar al menos tres funciones principales: la función de propiedad, la función de

operación y mantenimiento y la función de servicio técnico (consulte la figura 5 para obtener más detalles sobre estas tres funciones vitales).

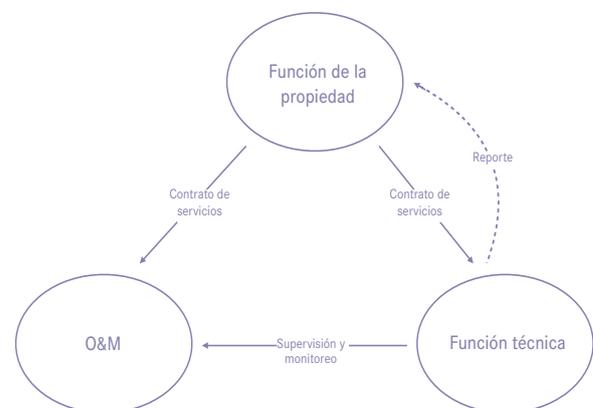


Figura 5: Modelo de gestión funcional

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 261

X 4.2 Principios de costeo de los sistemas de saneamiento

Los costos y beneficios de los sistemas de saneamiento

Los sistemas de saneamiento generan numerosos beneficios tanto para la salud humana como para el medio ambiente; sin embargo, estos conllevan una serie de costos. El verdadero valor que tienen los servicios de saneamiento para la sociedad generalmente se evalúa a través de un análisis económico que considera todos los beneficios y costos para la economía en su conjunto, incluidos aquellos que no tienen precio de mercado. Dado que el análisis económico considera todos los impactos positivos y negativos para la sociedad, es especialmente útil para la formulación de políticas y decisiones de inversión pública.

Por otro lado, un análisis financiero compara los costos y beneficios desde la perspectiva de un proyecto o una empresa, como una empresa de servicios públicos o un

proveedor de servicios. Para que un proyecto sea económicamente viable, debe ser financieramente sostenible. Si un proyecto o servicio no es financieramente sostenible, no habrá fondos adecuados para operar, mantener y reemplazar los activos adecuadamente a largo plazo. Cabe señalar que el análisis económico y financiero es complementario y necesario para documentar todos los costos y beneficios, incluidos aquellos que no tienen un precio de mercado.

En este capítulo, presentamos instrucciones paso a paso sobre cómo realizar un análisis financiero básico para la implementación de sistemas de saneamiento desde la perspectiva de un operador de servicios. Este tipo de análisis también es útil para comparar y seleccionar tecnologías de saneamiento porque visualiza no solo los costos de inversión sino también los costos recurrentes de operación y mantenimiento.

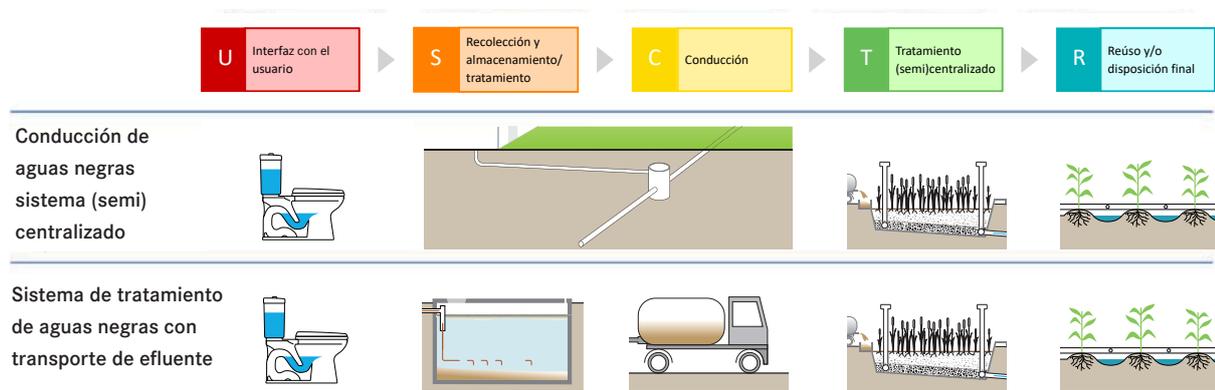


Figura 1: Ejemplos de sistemas de saneamiento

Análisis financiero para un sistema de saneamiento

Como se presentó en las secciones anteriores (partes 1 y 2), los sistemas de saneamiento se componen de una serie de tecnologías (componentes tecnológicos) que trabajan en conjunto para brindar servicios de saneamiento a través de los grupos funcionales que van desde la interfaz con el usuario hasta el reúso o la disposición final, como se muestra en figura 1.

Cada uno de los componentes que se muestran en la ilustración tales como inodoros, fosas sépticas, camiones de

succión, redes de alcantarillado, y plantas de tratamiento que forman parte del sistema de saneamiento o cadena de saneamiento generan costos.

Un análisis financiero estima la rentabilidad de un proyecto desde la perspectiva de un inversor. En un análisis financiero, se comparan los costos del proyecto con los ingresos esperados durante la vida útil del proyecto. Esto incluye costos de financiamiento e impuestos/subsidios. La figura 2 ilustra los elementos de un análisis financiero.

Estos costos pueden ser de dos tipos: costos de capital de mantenimiento (CAPEX) incluyendo el costo de financiamiento y gastos de operación y mantenimiento (OPEX). CAPEX se relaciona con la inversión inicial o el desembolso inicial de un proyecto donde se realiza una inversión en infraestructura. OPEX incluye todos los costos recurrentes

$$\text{Valor neto} = \text{Ingresos} - \text{Gasto de capital} - \text{Gastos operativos}$$

Figura 2: Enfoque del análisis financiero

relacionados con mano de obra, energía, mantenimiento regular, como se ilustra en la tabla 1.

El valor neto del proyecto debe ser mayor que cero (>0) para que el proyecto sea financieramente sostenible. En otras palabras, los ingresos deben ser mayores que la suma de CAPEX, costo de financiamiento y OPEX. Los ingresos pueden estar compuestos por tarifas, impuestos, transferencias (del gobierno) o ingresos por el comercio de cualquier subproducto de los sistemas de saneamiento que tenga un valor de mercado.

Tabla 1: Ejemplos de costos CAPEX y OPEX

CAPEX - gasto de capital	OPEX - gastos operativos
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura civil • Instalaciones eléctricas • Bombas y equipos electromecánicos • Tuberías y aspersores • Tanques y contenedores • Baños • Tierra 	<ul style="list-style-type: none"> • Mano de obra • Energía • Piezas de repuesto • Monitoreo de procesos y efluentes • Químicos y consumibles • Material de oficina • Comunicaciones • Entrenamiento de personal • Asistencia técnica • Alquileres

Para documentar los costos de un sistema de saneamiento, se debe determinar el costo de CAPEX y OPEX para todos y cada uno de los componentes que forman parte del sistema de saneamiento (es decir, para cada componente de la cadena del servicio de saneamiento).

Tasas de interés Las tasas de interés son un elemento central en los análisis financieros y económicos. La tasa de interés es el costo de oportunidad del capital, es decir, el rendimiento esperado de la inversión de su capital si lo hubiera invertido en otra parte. Las tasas de interés son muy importantes para los estudios de factibilidad económica y financiera, ya que permiten la comparación de costos e ingresos en diferentes momentos.

Descuentos y anualidades Las tasas de interés se utilizan para comparar los flujos de pago actuales con los flujos de pago en el futuro. Tal comparación puede usar uno de dos métodos principales:

- Valor Actual Neto (VAN - NPV por sus siglas in inglés)
- Costo Anual Equivalente (CAE - EAC por sus siglas en inglés)

Cada uno de estos métodos tiene sus puntos fuertes y débiles. El método VAN es bueno para realizar un seguimiento

del flujo de efectivo y las variaciones en los costos e ingresos a lo largo del tiempo. El método CAE es bueno para administrar proyectos complejos con muchos componentes técnicos con diferentes ciclos de vida técnica.

Valor Actual Neto (VAN) En algunos proyectos, los ingresos y los costos varían con el tiempo, por ejemplo, inversiones iniciales e ingresos que fluctúan (en términos reales) a lo largo del tiempo. En ese caso, se deberá utilizar el método VAN para calcular la diferencia entre el valor actual de todos los costos futuros y el valor actual de todos los ingresos futuros. Este método también le permitirá realizar un seguimiento del flujo de efectivo, ya que requiere que registre todos los costos e ingresos a lo largo del tiempo.

El cálculo del VAN permite comparar a valor presente series de flujos futuros (ingresos y negativos) de uno o más proyectos y alternativas. Cuando el VAN es positivo ($VAN > 0$), se entiende que es un proyecto rentable y que los ingresos (beneficios) superan a los costos. El VAN es muy utilizado en el sector para la evaluación de proyectos y es muy útil desde la perspectiva del inversor; sin embargo, existe otra metodología que es más práctica desde la perspectiva del propietario del proyecto o del proveedor del servicio porque expresa todos los costos y beneficios financieros del sistema en términos de flujos de efectivo anuales. La metodología se denomina Costo Anual Equivalente.

Costo Anual Equivalente (CAE) En un proyecto donde los ingresos y los costos operativos son constantes a lo largo del tiempo, puede ser ventajoso utilizar un enfoque más simple que el VAN. El método CAE de costo anual equivalente anualiza todos los costos de capital en pagos anuales de un préstamo, tomando la tasa de descuento económico como tasa de interés. Dado que los costos operativos y los ingresos son idénticos de un año a otro, será suficiente calcular la suma del pago anual de la inversión de capital, el costo operativo anual y los ingresos anuales de un solo año. Este CAE total es directamente comparable con otras alternativas calculadas de la misma manera. Este método es especialmente efectivo cuando se tiene un proyecto que incluye muchos componentes técnicos con diferentes ciclos de vida útil. Simplemente se calcula el pago anual de cada componente por separado, y se realiza el cálculo del pago tomando como base un préstamo con la misma duración que la vida útil técnica.

Ejemplo de cálculo de VAN y CAE Consideramos una pequeña planta de tratamiento municipal por 5000 p.e. (personas equivalente) que actualmente sirve a una red de alcantarillado de unos 1000 hogares que tratan 250 000 m³ de aguas residuales al año. La inversión inicial necesaria para implementar esta planta se presenta en la tabla 2 (detalle del CAPEX). Los costos recurrentes anuales para operar y mantener la planta (costos de operación y mantenimiento) se presentan en la tabla 3.

El municipio cobra una tarifa promedio por el servicio de alcantarillado de \$120 USD/año × hogar de los cuales \$70 USD/año × hogar se destinan a cubrir los costos de tratamiento de aguas residuales. En consecuencia, el ingreso anual total por el tratamiento de aguas residuales es de \$70 000 USD/año.

Tabla 2: Detalle CAPEX

Item	Descripción	Inversión inicial [USD]
1	Obras de entrada y estación de bombeo	61 207
2	Bombas	7 315
3	Equipo de pretratamiento	21 534
4	Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	170 251
5	Humedal artificial	130 321
6	Sistema de cloración	21 552
7	Oficinas y acceso vial	4 310
8	Cerca	21 408
9	Instalaciones electricas	8 621
	Total	446 519

Tabla 3: Detalle OPEX

Item	Descripción	Costos recurrentes [USD/año]
1	Costos de electricidad	15 334
2	Mano de obra	9 224
3	Monitoreo de la calidad del agua	319
4	Mantenimiento de equipos eléctricos	1 078
5	Reportes y trabajo de oficina	101
6	Herramientas menores	431
7	Agua potable (de servicios públicos)	86
	Total	26 573

Con base en estos datos, podemos proceder con los cálculos de VAN y CAE.

Cálculo del VAN Para el cálculo, consideramos los siguientes flujos de caja:

- Un desembolso inicial único de \$(446 519) USD en el año 0
- Ingresos recurrentes de \$70 000 USD/año
- Costos recurrentes de \$(26 573) USD/año

El flujo de caja neto anual es de \$43 427 USD/año.

La figura 3 muestra el flujo de caja del proyecto.

El VAN se calcula mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$$NPV(i, N) = \sum_{t=0}^N \frac{c_t}{(1+i)^t}$$

i es la tasa de descuento = 0,05

Ct es el flujo de caja neto en el momento t

y N el número total de períodos de tiempo = 30

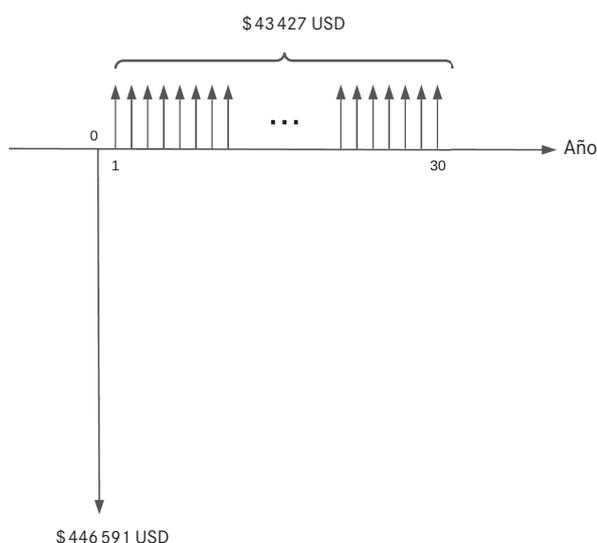


Figura 3: Flujo de caja del proyecto

El VAN es la diferencia entre el valor actual de las entradas de caja y el valor actual de las salidas de caja. Debido al valor del tiempo, el VAN considera la tasa de descuento (aquí WACC - weighted average cost of capital o costo medio ponderado del capital) durante la vida útil del proyecto, presentando así los flujos de caja anuales en valores actuales. En este caso, el VAN calculado es de \$210 233,74 USD. Un VAN positivo indica que las ganancias proyectadas generadas por un proyecto o una inversión - en dólares actuales - exceden los costos anticipados, también en dólares actuales. Se supone que una inversión con un VAN positivo será rentable. Una inversión con un VAN negativo resultará en una pérdida neta. Este concepto es la base de la regla del valor actual neto, que dicta que sólo se deben considerar las inversiones con valores VAN positivos.

Tabla 4: Cálculo de costos de inversión anualizados

Item	Descripción	(Po) Inversión inicial [USD]	(N) Vida útil [años]	(A) Capex anualizado [USD/año]
1	Obras de entrada y estación de bombeo	61 207	30	3 981
2	Bombas	7 315	7	1 264
3	Equipo de pretratamiento	21 534	10	2 789
4	Reactor anaerobio con deflectores (ABR)	170 251	20	13 661
5	Humedal artificial	130 321	20	10 457
6	Sistema de cloración	21 552	20	1 729
7	Oficinas y acceso vial	4 310	30	280
8	Cerca	21 408	30	1 393
9	Instalaciones eléctricas	8 621	10	1 116
	Total	446 519		36 672

Cálculo de CAE Para el cálculo de CAE, consideramos los costos de inversión inicial teniendo en cuenta la vida útil de cada componente para anualizar todos los costos de capital en pagos anuales de un préstamo con la Tasa de descuento como tasa de interés. Los valores anualizados de CAPEX se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Donde: } A = \frac{Po * i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

A = Costo de inversión anualizado para cada componente

Po = Costo de inversión inicial de cada componente

i = Tasa de descuento (tasa de interés anual) = 0,05

N = Vida útil de cada componente (años)

El costo de inversión total anualizado es de \$36 672 USD/año. De la tabla 3, tenemos que los costos anuales de operación y mantenimiento (OPEX) ascienden a 26 573. Podemos concluir que el costo total anual de propiedad y operación de la planta de tratamiento, CAPEX + OPEX es (\$36 672 USD + \$26 573 USD) = \$63 245 USD/año. El cálculo del costo neto anual total de la planta de tratamiento es el siguiente:

Valor neto anual = Ingresos – CAPEX – OPEX

Valor neto anual = \$70 000 – \$36 672 – \$26 573 = \$6 755 USD

Este resultado significa que el ingreso de \$70 000 USD/año puede cubrir todos los costos de tratamiento de aguas residuales y genera una ganancia de \$6 755 USD/año. El costo unitario de un metro cúbico (m³) de aguas residuales tratadas se puede calcular dividiendo el costo anual total del tratamiento de aguas residuales por el volumen de aguas residuales tratadas en un año:

Costo unitario de tratamiento de aguas residuales = \$63 245 USD/ 250 000 m³ = \$0,25 USD/m³.

El costo anual per cápita del tratamiento de aguas residuales se puede calcular dividiendo los costos anuales totales del tratamiento de aguas residuales por el número de personas a las que se atiende:

Costo anual per cápita de tratamiento de aguas residuales = \$63 245 USD/ 5 000 cápita = \$12,65 USD/cápita

Mensajes clave

- Los servicios de saneamiento generan tanto beneficios como costos. Se necesita un análisis económico para evaluar y documentar los verdaderos costos y beneficios para la sociedad y la economía en su conjunto. Esto es particularmente importante para informar la formulación de políticas y las decisiones de inversión pública.
- Desde la perspectiva de la prestación del proyecto o servicio, se debe realizar un análisis financiero para asegurar la sostenibilidad financiera del proyecto o prestación del servicio. Se utilizan dos metodologías: el Valor Actual Neto (VAN) y el Costo Anual Equivalente (CAE). Este último es especialmente útil para determinar:
 - Flujos de caja anuales (ingresos y costos)
 - Costos unitarios, p. ej., costo por m³
 - Costos anuales per cápita

El análisis financiero se puede realizar para cada componente de un sistema de saneamiento. Para evaluar los costos totales de una solución de saneamiento, se deben sumar los costos de todos los componentes de los sistemas.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 262

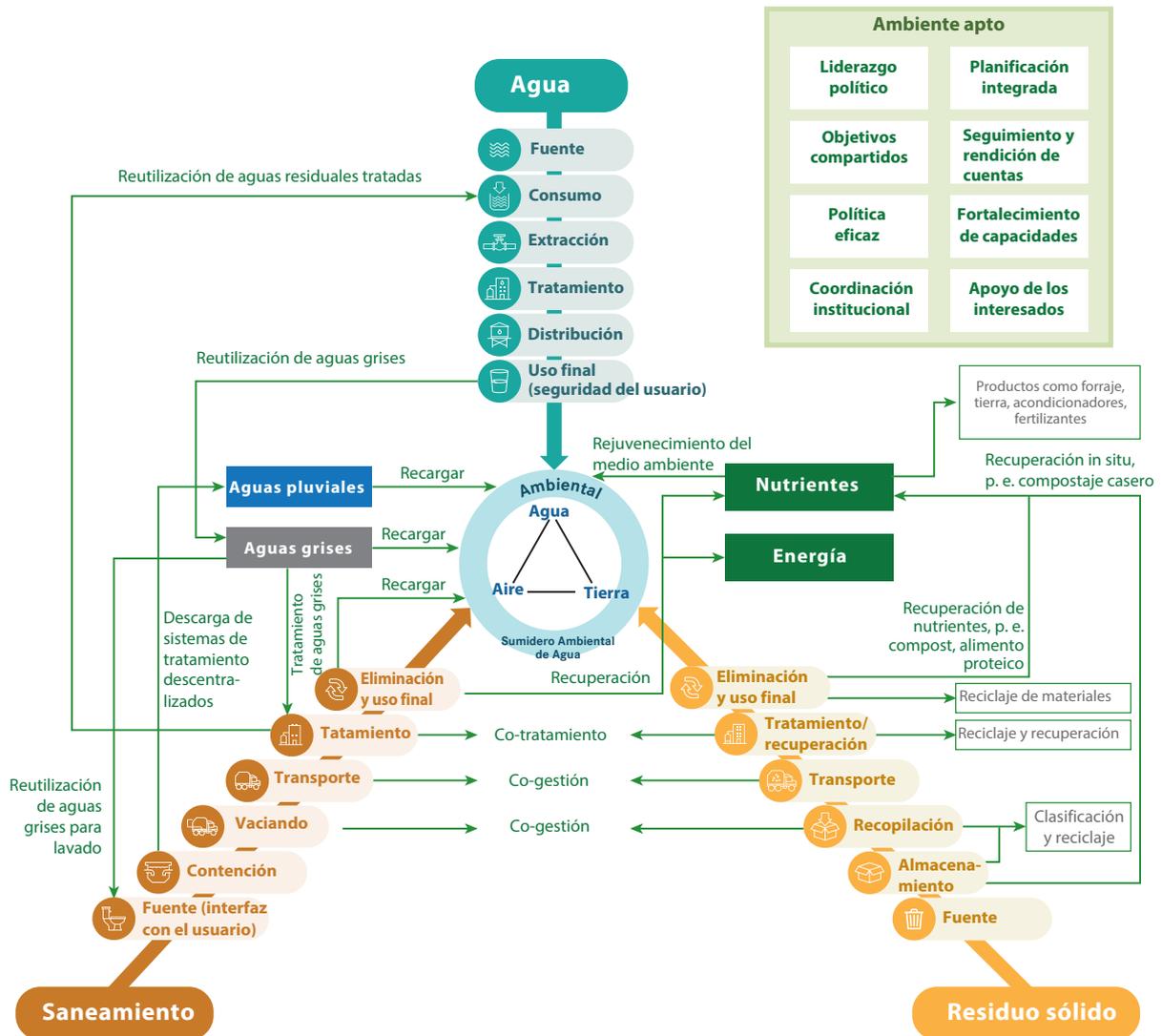


Figura 2: (Narayan et al., 2021): Una ilustración de las diversas interacciones positivas que podrían tener lugar entre las cadenas de servicios de agua potable, saneamiento y residuos sólidos indicadas por las flechas verdes. Los dos recuadros verdes etiquetados como nutrientes y energía son productos deseables que podrían recuperarse de estas cadenas y sus interacciones. La recuperación, la clasificación y el reciclaje pueden dar lugar a más productos finales, como fertilizantes, forrajes y materias primas para otros usos fuera de las cadenas de servicios. Esta figura muestra que con el entorno propicio adecuado (aquí los ocho factores más importantes se enumeran en recuadros blancos), un enfoque integrado podría llevar a que se produzcan muchos de los resultados sinérgicos.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 262

X 4.4 Operación y gestión efectiva de activos

La RSAP señala que “muchas empresas de agua en el Caribe no están invirtiendo lo suficiente en sus activos, un problema que se agrava por el hecho de que muy pocas empresas de agua generan ganancias porque la tarifa no representa el costo económico de producir agua” (RSAP, p.19).

Muchas empresas de agua no invierten lo suficiente en sus infraestructuras, y menos aún en su gestión. Aunque muchas de las tecnologías presentadas en este compendio no requieren operadores altamente cualificados ni una operación y mantenimiento (O&M) complejos, una O&M adecuada es fundamental para el buen funcionamiento de la planta. La Alianza SuSanA enumera cinco principios guía para el diseño de servicios de O&M sostenibles (SuSanA WG 10, 2012):

- El nivel de O&M está fuertemente ligado a la propiedad de una instalación y a la comprensión básica de la tecnología y sus funciones.
- Cada tecnología que se implanta en un sistema de saneamiento requiere una operación y mantenimiento adecuados para funcionar.
- Diferentes tecnologías en diferentes pasos de la cadena de saneamiento necesitan diferentes personas y diferentes responsabilidades para la O&M.
- Para la gestión de los servicios de O&M es esencial definir claramente las funciones y las responsabilidades, así como el apoyo y la formación adecuados.
- Las responsabilidades institucionales y los mecanismos eficaces de recuperación de costos son necesarios para garantizar la sostenibilidad de los servicios de O&M.

La introducción de nuevos sistemas y tecnologías de saneamiento requiere de recursos humanos calificados en tres niveles (véase “Gestión Efectiva” en el Capítulo X 4.1):

- Dentro de la entidad proveedora de servicios (operador de servicios privado o servicio público): los proveedores de servicios necesitan procedimientos operativos estándar claros para las tareas que se realizarán diariamente, semanalmente, mensualmente o anualmente, incluidos los estándares y el monitoreo de salud y seguridad, por ejemplo, para medir el rendimiento del tratamiento;

- A nivel del propietario del activo (por ejemplo, municipalidad): el propietario del activo requiere las habilidades para establecer objetivos, monitorear y evaluar el desempeño de la prestación del servicio, incluida la decisión sobre la acción correctiva;

- A nivel de la autoridad reguladora: el regulador necesita las habilidades y capacidades, por ejemplo, para desarrollar y monitorear el desempeño del marco regulatorio relevante, “arbitrar” entre el usuario y el proveedor del servicio y tomar medidas regulatorias correctivas cuando sea necesario.

Las inversiones en el desarrollo de la infraestructura de saneamiento tienden a no estar enfocadas en el tamaño, las competencias y el entorno propicio para asegurar la base de recursos humanos necesarios para diseñar, construir, operar, mantener, poseer y regular dichos servicios para cumplir con el objetivo e ir más allá hacia la cobertura universal.

La operación y gestión eficaz de activos para el saneamiento urbano resiliente al clima (Mikhael 2021, p. 59-60) debería:

- Habilitar el monitoreo y la evaluación activos de los activos de saneamiento.
- Llevar a cabo el mantenimiento rutinario y la mejora de la infraestructura de saneamiento.
- Asegurar recursos humanos adecuadamente capacitados para la operación y la gestión (adaptativa).
- Garantizar cadenas de suministro confiables para la operación y mantenimiento de la infraestructura de saneamiento.

Más información sobre las plataformas y los recursos relevantes de Global Water Operator’s Partnerships Alliance respecto a la operación, el mantenimiento y la gestión eficaz de activos se podrá encontrar en el capítulo “X 5 Desarrollo de capacidades y sensibilización para la resiliencia climática”.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 261

X 4.5 Financiamiento de saneamiento sensible al clima

El RSAP dedica un capítulo a la Movilización de Recursos (RSAP 2019, p. 41-42) que refleja los enfoques, estrategias y agencias relevantes que pueden considerarse para financiar proyectos de desarrollo del sector del agua sensibles al clima en el Caribe (incluido el saneamiento). El 1^{er} plan de implementación, en su capítulo introductorio, informa que *“los países individuales han estado desarrollando sus propios planes y programas de acción nacionales y avanzando con la redacción de notas conceptuales, asegurando activamente recursos y emprendiendo acciones informadas por y consistentes con el contenido del RSAP”*.

Continúa afirmando: *“En este sentido, se puede señalar que existen organizaciones regionales que tienen el mandato de brindar apoyo a las empresas de servicios públicos y organizaciones a nivel nacional en forma de subvenciones y préstamos para promover la resiliencia del sector del agua al cambio climático y la variabilidad climática. Por ejemplo, se pueden otorgar subvenciones de hasta US\$50 millones, así como préstamos de hasta US\$250 millones para proyectos de adaptación climática del sector del agua. Estas son solo algunas de las opciones de fondos concesionales disponibles, y se alienta a los gobiernos nacionales a explorar los canales disponibles que se les abren para el apoyo al sector, por ejemplo, a través del BDC, el BID y la CCCCC. Las organizaciones regionales, como GWP-C, ya están trabajando como intermediarios con los gobiernos nacionales para apoyar el desarrollo de proyectos financiables y ayudar a acercarse a posibles organismos de financiación”*.

Para acceder a los fondos climáticos, los proyectos de agua y saneamiento necesitan responder mejor a los criterios climáticos. Las organizaciones y los países deben comprender mejor los requisitos necesarios, acordar indicadores apropiados y utilizar el lenguaje adecuado en sus propuestas para responder suficientemente a lo que buscan las instituciones de financiación. Por ejemplo, todos los bancos multilaterales de desarrollo ahora tienen que llevar la contabilidad de GEI en sus proyectos, y ya tienen o están desarrollando herramientas de contabilidad de GEI para hacerlo. Sin embargo, cuando los especialistas en contabilidad de GEI analizan un proyecto de saneamiento, no necesariamente entienden dónde ocurren todas las fugas, los beneficios colaterales potenciales o todos los impactos climáticos y las diferencias entre las soluciones en red y fuera de la red. Los profesionales del saneamiento deben educar a los especialistas en contabilidad de GEI y viceversa. Esta agenda debe ser impulsada colectiva y concomitantemente.

Los Bancos Multilaterales de Desarrollo están incorporando sistemáticamente medidas de mitigación y adaptación climática en sus proyectos. Por ejemplo, en sus “Líneas de Acción”, el “Documento Marco del Sector Agua y Saneamiento” del BID apoya el desarrollo de herramientas, métodos y modelos (cuantitativos o cualitativos) para la evaluación y simulación de la calidad y disponibilidad del agua (incluyendo acuíferos) y los diferentes usos del agua, para su uso en la planificación, diseño y operación de la infraestructura de agua y saneamiento, incluyendo la gestión sostenible del drenaje pluvial y los residuos sólidos. Se promueven intervenciones innovadoras que

incorporan principios de economía circular que abordan las necesidades de recolección, manejo y tratamiento de aguas residuales, junto con infraestructura que mitiga las emisiones de gases de efecto invernadero y es resiliente al cambio climático (BID, 2021).

Esto generalmente se apoya a través de un conjunto de actividades operativas que incluyen:

- Asistencia técnica para mejorar las soluciones de agua y saneamiento para enfrentar los desafíos del sector, incluida la capacitación para los actores (proveedores de servicios y usuarios).
- Diseño de planes de acción para que las empresas mejoren su gestión operativa, comercial, técnica y financiera, con asistencia técnica para su implementación, incluyendo herramientas de gestión e innovación.
- Diseñar y apoyar soluciones técnicas innovadoras y esquemas financieros que permitan a las empresas recuperar costos de operación y mantenimiento (O&M), eficiencia en la expansión de servicios, incluyendo tratamiento de aguas residuales, reúso, infraestructura verde, cogeneración de energía y aprovechamiento de aguas pluviales.
- Fortalecer los esquemas de gestión comunitaria de los servicios de agua y saneamiento de los sistemas rurales y de pequeñas localidades a través de juntas o asociaciones, desarrollando e implementando esquemas de apoyo técnico y financiero, especialmente en la fase post-construcción de las obras, que garanticen la O&M.

Referencias y lecturas adicionales

se encuentran en la página 262

X 5 Creación de capacidades y sensibilización para la resiliencia climática



Este componente del RSAP tiene como objetivo aumentar el aprendizaje y desarrollar la capacidad dentro de las empresas de servicios públicos y las partes interesadas en los Estados miembros para poder desarrollar estrategias del sector del agua resilientes al clima en todo el Caribe y abordar los impactos del cambio climático. Un componente importante es el de monitoreo y evaluación como parte del desarrollo de capacidades. Esto reconoce el papel de las instituciones regionales y, en particular, la CWWA en el seguimiento y la presentación de informes a los ministros sobre el progreso con respecto al desarrollo y la implementación del RSAP.

Otros recursos y plataformas para el desarrollo de capacidades a los que se hace referencia en este compendio incluyen:



GWOPA: la plataforma Global Water Operators' Partnerships Alliance (organizada por ONU-Hábitat) para el desarrollo de capacidades y el intercambio de conocimientos sobre operación y mantenimiento.



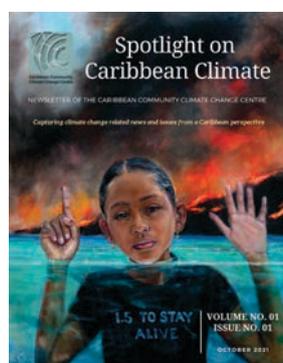
WOP-LAC es la plataforma regional para América Latina y el Caribe. La Secretaría es hospedada por AySA (Agua y Saneamientos Argentinos), como aporte a ALOAS (Asociación Latinoamericana de Operadores de Agua y Saneamiento), y cuenta con el apoyo permanente de GWOPA y BID.



Cari-WOP es la plataforma regional de WOP-LAC en el Caribe. La Secretaría permanente está copatrocinada por CAWASA y CWWA. La plataforma en línea para la comunidad mundial de WOP dedicada a debates, intercambios y creación conjunta también está abierta a personas y se puede acceder a ella a través de <https://gwopa.org/covid-19/workplace/>. El Consorcio ONU-Hábitat organizó en la región cuatro seminarios web sobre “Establecimiento de la agenda para el tratamiento y monitoreo de aguas residuales en el contexto de los ODS: Aguas residuales urbanas 2030”. El informe de resultados está disponible con CAWASA.

El lugar virtual del 4.º Congreso Mundial de WOP de 2021 se puede visitar en:

<https://gwopa.org/wop-congress/> y www.youtube.com/user/GWOPChannel/videos



Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe (CCCCC) – Centro Regional de Excelencia Información, Capacitaciones, Herramientas y agencia ejecutora de proyectos relacionados con el Cambio Climático

Con sede en Belice, el CCCCC ofrece información actualizada sobre el cambio climático en el Caribe. La publicación “Spotlight on Caribbean Climate” comenzó con el Volumen No. 1, Edición No. 1 en octubre de 2021 presentando un enfoque de agua con actividades en Barbados financiadas por el Fondo Verde para el Clima (p. 14-15). Disponible en: <https://viewer.joomag.com/spotlight-on-caribbean-climate-volume-1-issue-1/0033026001635180261?short&>

CCCCC también ofrece información y capacitación sobre diferentes temas relacionados con el clima, incluidos cursos en línea sobre temas como la bioenergía (www.caribbeanclimate.bz/education/online-bio-energy-course/).

Herramientas específicas para evaluar los riesgos climáticos o el potencial de acción relacionada con el clima en el contexto del Caribe disponible en:

www.caribbeanclimate.bz/caribbean-climate-change-tools/.



Saneamiento ambiental urbano liderado por la comunidad: CLUES

Pautas completas para tomadores de decisiones con 30 herramientas

CLUES presenta un conjunto completo de lineamientos para la planificación del saneamiento en áreas urbanas de bajos ingresos. Es el marco de planificación más actualizado para facilitar la prestación de servicios de saneamiento ambiental para comunidades urbanas y periurbanas. CLUES presenta siete pasos fáciles de seguir, que están destinados a realizarse en orden secuencial. El Paso 5 del enfoque de planificación se basa en el compendio, aplicando el enfoque de sistemas para seleccionar la(s) opción(es) tecnológica(s) más apropiada(s) para un contexto urbano dado. El documento también brinda orientación sobre cómo fomentar un entorno propicio para la planificación del saneamiento en entornos urbanos.

Por Lüthi, C., Morel, A., Tilley, E. y Ulrich, L. (2011). Eawag (Sandec), WSSCC, ONU-HABITAT. PDF gratuito disponible en: www.sandec.ch/clues

Herramienta de Evaluación y Monitoreo del Desempeño Energético y Emisiones de Carbono (ECAM)



Herramienta de evaluación y seguimiento del rendimiento energético y las emisiones de carbono (ECAM)

ECAM es una herramienta de código abierto desarrollada bajo la iniciativa conjunta de las empresas de agua y aguas residuales para la mitigación del cambio climático (WaCClIM) de GIZ e IWA. Está diseñado para cuantificar y evaluar las emisiones de GEI de los servicios públicos de agua y aguas residuales a nivel de todo el sistema, lo que permite identificar oportunidades para reducir el consumo de energía y la huella general del servicio.

Las versiones anteriores de ECAM se enfocaban únicamente en los sistemas convencionales de agua y aguas residuales; sin embargo, se ha incorporado el saneamiento sin alcantarillado desde la versión 3.0. Para obtener más información, visite: <https://wacclim.org/ecam-tool/>

CReW+ Academy

Academia CReW+: una plataforma para todas las iniciativas de capacitación dentro del proyecto GEF CReW+.

La plataforma bilingüe (en/es) ofrece cursos cortos y gratuitos orientados a implementar soluciones de Gestión Integrada de Agua y Aguas Residuales (IWWM) para un Caribe limpio y saludable. Los grupos destinatarios son profesionales de ministerios, empresas de servicios, asociaciones y organizaciones regionales. Los cursos anteriores están disponibles en la sección Recursos. Para obtener más información, visite: <https://academy.gefcrew.org/en/>

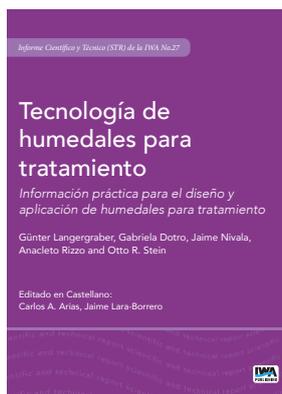
eawag aquatic research



Educación y capacitación en línea

Capacitación profesional en línea desde el nivel básico hasta el avanzado. Planificación y diseño de sistemas y tecnologías de saneamiento con certificado (opcional) en la plataforma Coursera:

- www.youtube.com/c/SanitationMOOC (con subtítulos en español)
- www.youtube.com/c/Capacitydevelopmentforinclusiveurbansanitation
- www.coursera.org/learn/sanitation



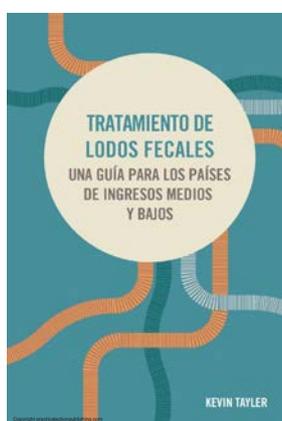
Tecnología de humedales para tratamiento

Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento

Se hace referencia a este libro en todas las soluciones basadas en la naturaleza de este compendio. El contenido del informe científico y técnico (STR por sus siglas en inglés) No.27 de la IWA sobre tecnología de humedales incluye información útil para profesionales e investigadores que buscan diseñar humedales de tratamiento. Este STR fue conceptualizado y escrito por destacados expertos en el campo, con la contribución de más de 50 colegas de humedales de la academia y la práctica. El STR presenta las últimas aplicaciones tecnológicas dentro de un marco de planificación innovador de diseño de humedales de usos múltiples. También incluye información de diseño práctico recopilada a partir de más de veinte años de experiencia de profesionales y académicos, que abarca experimentos a escala de laboratorio y piloto hasta aplicaciones a gran escala.

Por Langergraber, G., Dotro, G., Nivala, J., Rizzo, A., Stein, O.R. (Eds.) (2019). Editorial IWA.

PDF gratuito disponible en: <https://doi.org/10.2166/9781789062342>



Tratamiento de lodos fecales

Una guía para los países de ingresos medios y bajos

Se hace referencia a este libro en muchas de las tecnologías de tratamiento presentadas en este compendio. La mayoría de las personas en todo el mundo sigue utilizando diversos sistemas de saneamiento *in situ*. Éstos requieren un vaciado periódico y el material extraído de ellos debe ser tratado antes de su reúso o vertido al medio ambiente. El libro analiza los contextos urbanos que influyen en los requisitos de tratamiento y los procesos generales de tratamiento de aguas sépticas. Examina las opciones y los enfoques de diseño en cada etapa del tratamiento, desde la recepción, pasando por el tratamiento preliminar, la separación de sólidos y líquidos, el tratamiento anaerobio y aerobio de las fracciones líquidas y sólidas separadas hasta los sistemas para hacer que los productos tratados sean aptos para su reúso en la agricultura o como un combustible. El libro proporciona una guía sencilla sobre las opciones para el tratamiento de lodos fecales y las opciones entre esas opciones. Todos los conceptos y enfoques se explican claramente, haciéndolos accesibles a un público no especializado. Es una lectura esencial para los planificadores e ingenieros que trabajan en el gobierno local, los departamentos especializados del gobierno central, las ONG y firmas consultoras que trabajan en la planificación y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, y los investigadores y estudiantes de saneamiento urbano.

Por Tayler, K. (2018). Practical Action Publishing, Rugby, Reino Unido., PDF gratuito disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>



SuSanA – Alianza de Saneamiento Sostenible

SuSanA es una red informal de personas y organizaciones que comparten una visión común sobre saneamiento sostenible y que quieren contribuir a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 6. SuSanA conecta a más de 14 000 miembros individuales y 360 organizaciones asociadas (ONG, empresas privadas, organizaciones multilaterales, agencias gubernamentales e instituciones de investigación) a una comunidad de personas con experiencia y opiniones diversas. SuSanA también sirve como caja de resonancia para ideas innovadoras. Finalmente, SuSanA contribuye al diálogo sobre políticas a través de publicaciones, reuniones e iniciativas conjuntas. Los miembros pueden recibir actualizaciones sobre las actividades y debates de SuSanA que les interesen, participar en el foro de debate y participar activamente en los grupos de trabajo temáticos. Por ejemplo, el capítulo X 2.1 “Gestión integrada de aguas subterráneas y saneamiento” fue coescrito por el grupo de trabajo 11 de SuSanA (protección de aguas subterráneas). El alcance de las partes interesadas y la traducción de este compendio fueron apoyados por el Capítulo Regional de SuSanA Latinoamérica. El sitio web de SuSanA, con su biblioteca, base de datos de proyectos y foro de discusión, es un recurso importante para cualquiera que desee explorar las posibilidades del saneamiento sostenible. Para más información visita: www.susana.org/es/



X 5a Investigación y desarrollo

Este componente RSAP busca fomentar la investigación y el desarrollo aplicados y el uso de tecnología e innovación para mejorar la gestión de los recursos hídricos, facilitar una toma de decisiones mejor informada, mejorar la rentabilidad de las operaciones y crear una mayor resiliencia a los impactos del cambio climático. Su objetivo es establecer un mecanismo para coordinar la investigación, identificar las necesidades de investigación y participar en el desarrollo de la propuesta correspondiente.

Los planes de implementación de RSAP observan que *“pocas empresas de servicios públicos de agua participan y apoyan activamente la investigación relacionada con sus desafíos operativos. A la vez, los investigadores regionales tienen un acceso limitado a los fondos de investigación y, a menudo, estos son parte de las subvenciones de investigación a organizaciones y universidades que no tienen su sede en la región. En otras partes del mundo se han creado fondos para apoyar y fomentar la investigación. El primer paso será revisar las iniciativas de financiación de otras regiones y considerar la viabilidad de establecer un fondo de investigación regional, un vehículo apropiado para la recaudación de fondos y una estimación de los fondos que podrían recaudarse”*.



El Simposio Virtual de Ciencias del Caribe sobre el Agua, el primero de su tipo en la región, fue organizado por Global Water Partnership-Caribbean durante 3 días en marzo de 2021. Concebido como una contribución al RSAP y otros programas regionales o subregionales relacionados, políticas, estrategias y planes de acción relacionados con la gestión de recursos hídricos, incluyó una mesa redonda sobre la gestión de aguas residuales apoyada por aportes de The Nature Conservancy y el proyecto GEF-CReW+. El Simposio está bien documentado y ha producido una serie de Perspectives Papers y otras publicaciones, incluidas todas las presentaciones. Más información disponible en: www.caribbeanswater.com y www.gwp.org/en/GWP-Caribbean/



La Escuela de Graduados en Saneamiento Global (GSGS) también ofrece educación académica sobre los sistemas y tecnologías de saneamiento presentados en este compendio en colaboración con un número creciente de universidades en todo el mundo. A partir de mayo de 2022 con un nuevo programa de Maestría en Saneamiento e Ingeniería Sanitaria, **GSGS abre un nuevo capítulo en América Latina** en la UTEC (Universidad Tecnológica del Uruguay). GSGS es una plataforma para facilitar el desarrollo y potenciar la difusión de conocimientos sobre saneamiento a través de programas de posgrado (MSc), cursos en línea (de autoaprendizaje y dirigidos por un instructor), cursos presenciales (en el campus) y cursos personalizados de capacitación. Tiene la intención de incluir cualquier otro programa que se centre principalmente, o al menos en una parte sustancial, en el saneamiento inclusivo en toda la ciudad (CWIS), incluido el saneamiento sin alcantarillado (NSS) y la gestión de lodos fecales (FSM), es decir, sistemas y tecnologías de saneamiento presentado en este compendio. Unirse a la plataforma GSGS con un nuevo capítulo en la Región del Gran Caribe podría ser una forma eficiente de acelerar la investigación y el desarrollo y fortalecer las capacidades para implementar soluciones de saneamiento guiadas por el RSAP y otros planes de acción regionales relacionados. Más información disponible en: <https://sanitationeducation.org>

Para esta sección se han seleccionado seis estudios de caso: cinco de la Región del Gran Caribe y uno de Latinoamérica.

- Caso 1: Tratamiento de aguas residuales basado en la naturaleza para nuevos desarrollos de vivienda en Penonomé, Panamá
- Caso 2: Manejo integrado de aguas residuales y biosólidos en un matadero en León, Nicaragua
- Caso 3: Tratamiento semicentralizado de aguas residuales para nuevos desarrollos habitacionales en Nindirí, Nicaragua
- Caso 4: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de campos de golf en un gran resort de playa en Punta Cana, República Dominicana
- Caso 5: Ahorro de agua y saneamiento sostenible con saneamiento en contenedores para una comunidad periurbana en el lago Atitlán, Guatemala
- Caso 6: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de cultivos a nivel municipal en Tolata, Bolivia

La selección se basó en los siguientes criterios:

1. Tamaño: sistemas pequeños y medianos
2. Carácter: innovador y no convencional
3. Sin alcantarillado: fuera de la red actual de servicios públicos
4. Basado en la naturaleza: favorable al reúso
5. Números: para los co-beneficios y las fuentes de ingresos (solicitados)
6. Compendio: reflejando sistemas y tecnologías presentadas

Todos los estudios de caso son soluciones a escala real basadas en la naturaleza, que permiten el reúso de agua, energía y nutrientes en partes o en su totalidad. Van desde una solución basada en contenedores con un servicio de recolección manual domiciliaria en Guatemala hasta un gran centro turístico en la República Dominicana.

El estudio de caso 2 muestra la aplicación de las tecnologías de tratamiento presentadas en este compendio para las aguas residuales orgánicas de alta concentración procedentes de un matadero municipal. Aunque los sistemas y tecnologías de saneamiento presentados en este compendio se centran en gran medida en las aguas residuales domésticas de los hogares y de las instituciones públicas u hoteles, este estudio de caso anima a los profesionales a prever y diseñar sistemas más allá de los hogares; es un ejemplo de cómo resolver los problemas de aguas residuales orgánicas más contaminantes con soluciones basadas en la naturaleza. El Anexo III sobre Aguas Residuales Domésticas del Convenio de Cartagena (véase p. 173-174), cubre explícitamente “los vertidos de las pequeñas industrias, siempre que su composición y calidad sean compatibles con su tratamiento en los sistemas de aguas residuales domésticas”. (Protocolo FTCM Anexo III, A. 1 [c]). El caso de estudio 2 muestra cómo se puede realizar eso.

La siguiente estructura se aplica a todos los estudios de caso:

- **Aspectos generales**, incluida una perspectiva visual
- **Proceso de planificación**
- **Aspectos técnicos**, incluidos el diagrama y el diseño del sistema
- **Aspectos institucionales y normativos**
- **Aspectos financieros**
- **Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas**

De este modo, los estudios de caso seleccionados ilustran todos los aspectos y elementos presentados en los capítulos anteriores de este compendio y ofrecen una comprensión visual de las soluciones posibles.

Caso 1: Tratamiento de aguas residuales basado en la naturaleza para nuevos desarrollos de vivienda en Penonomé, Panamá



Aspectos generales El proceso de urbanización en Panamá en los últimos años ha incrementado la demanda de sistemas de tratamiento de aguas residuales. La complejidad de los procesos de operación y mantenimiento en los sistemas convencionales, y la necesidad de personal calificado y equipos electromecánicos implican una serie de dificultades para las empresas de servicios públicos y operadores privados, así como altos costos de energía. Los sistemas convencionales de infraestructura gris a menudo resultan en la pérdida de grandes inversiones debido al abandono. En este contexto, las soluciones basadas en la naturaleza emergen como alternativas eficientes y de bajo costo. Este es el caso de los humedales flotantes (HF T.10). En Panamá se suelen denominar filtros verdes flotantes. Esta tecnología ha sido aprobada por las autoridades locales, incluido el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Vivienda y la Municipalidad de Panamá. “Paseo del Bosque”, es un eco-barrio en la región de Penonomé, integrado por 216 viviendas que generan 324 m³/día de aguas residuales de tipo municipal

que deben ser tratadas localmente antes de que el efluente pueda ser descargado a un curso de agua natural cercano. El proyecto fue implementado por Green Engineering Corp. y FG Guardia, dos empresas panameñas especializadas en el diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales basadas en la naturaleza.

Proceso de planificación Los principios rectores para elegir la tecnología y diseñar el sistema de tratamiento fueron: i) bajos costos de O&M, ii) procesos naturales, iii) evitar la generación de malos olores y iv) integración paisajística.

La figura 1 muestra la lógica del sistema de saneamiento: los hogares cuentan con inodoros y descargan las aguas residuales a una red de alcantarillado convencional que conduce todas las aguas residuales a la planta de tratamiento y el efluente tratado se descarga a un curso de agua cercano. Se consideraron todas las regulaciones locales desde el principio, para garantizar que el efluente tratado cumpliera con los estándares de descarga y la fase de construcción comenzó solo después de que las

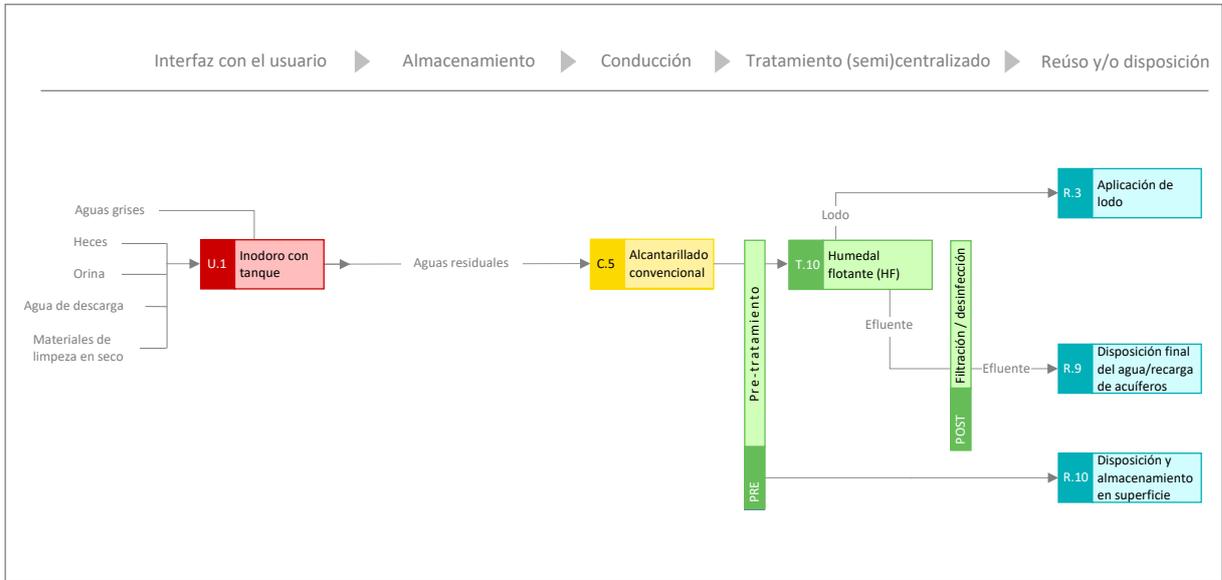


Figura 1: Diagrama del sistema

autoridades públicas aprobaran el proyecto. El tratamiento de aguas residuales basado en humedales flotantes elimina la necesidad de electricidad, no requiere componentes electromecánicos ni químicos y es amigable con el medio ambiente. Los sistemas que no utilizan equipos ni energía generan menores costos de operación y mantenimiento, haciendo viable financieramente su operación en el mediano y largo plazo.

Aspectos técnicos El sistema de humedal flotante se ha implementado como se describe en la ficha tecnológica T.10 HF. Las principales variables para diseñar un sistema de este tipo son: i) las características de las aguas residuales incluyendo la carga orgánica, ii) el tipo de terreno, iii) el caudal de agua y iv) el tipo de curso de agua donde se descarga el efluente tratado.

Los componentes principales del tren de tratamiento son:

- Unidad de tratamiento preliminar para eliminar todos los sólidos no biodegradables
- Humedal de filtro flotante, para tratar las aguas residuales a un nivel apropiado
- Obras de salida para descargar el efluente tratado a un cauce

El efluente tratado cumple con la Norma para la Descarga de Efluentes Líquidos a Cuerpos de Agua Continentales y Marinos de Panamá (COPANIT-35-2019). A la entrada y salida de la planta se monitorean los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, SST, N y P.

Para determinar la eficiencia del tratamiento de la planta, se realizó un análisis en agosto de 2021. Los resultados del monitoreo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Monitoreo de la calidad del agua

Parámetro	Entrada	Salida	Límite	Eficiencia global
DBO ₅ [mg/l]	220	9,70 ± 0,16	50	95,5 %
DQO [mg/l]	420	16,50 ± 1,4	100	96,0 %
SST [mg/l]	220	<7,00 ± 3,0	35	96,8 %

Tabla 2: Contenido de nutrientes en el efluente

Parámetro	Efluente	Límite
N-NH ₃ [mg/l]	1,4 ± 1,0	15,0
P [mg/l]	1,29 ± 0,52	10,0

Aspectos institucionales y normativos El Informe de las Naciones Unidas sobre el Agua (WWAP, 2018) concluye que las soluciones basadas en la naturaleza tienen un gran potencial para enfrentar los desafíos actuales y futuros de la gestión de los recursos hídricos, tal como se refleja en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, los ODS y sus metas.

Los humedales flotantes han sido aprobados y cuentan con el apoyo del Ministerio de Salud (MINSa), el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAA) y el Ministerio del Ambiente (MIAMBIENTE). Estos sistemas se consideran infraestructura verde.

El Ministerio de Vivienda de Panamá promueve el uso de esta tecnología, a través del Decreto Ley No. 150-2020 que corresponde al Nuevo Reglamento Nacional de Urbanizaciones, Solares y Solares, permite el uso de las áreas públicas para sistemas basados en la naturaleza y son considerados como infraestructura verde.

Aspectos financieros El costo total de inversión (CAPEX) de la planta de tratamiento fue de \$232 559 USD. Los costos operativos totales (OPEX) son de \$855 USD/ mes, lo que se traduce en \$0,86 USD/m³.

Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas Uno de los principales factores de éxito ha sido la integración del sistema en el paisajismo del condominio, porque forma parte de las áreas verdes y no genera olores. Los bajos costos de inversión y la fácil operación y mantenimiento hacen muy atractiva esta alternativa tecnológica.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 263

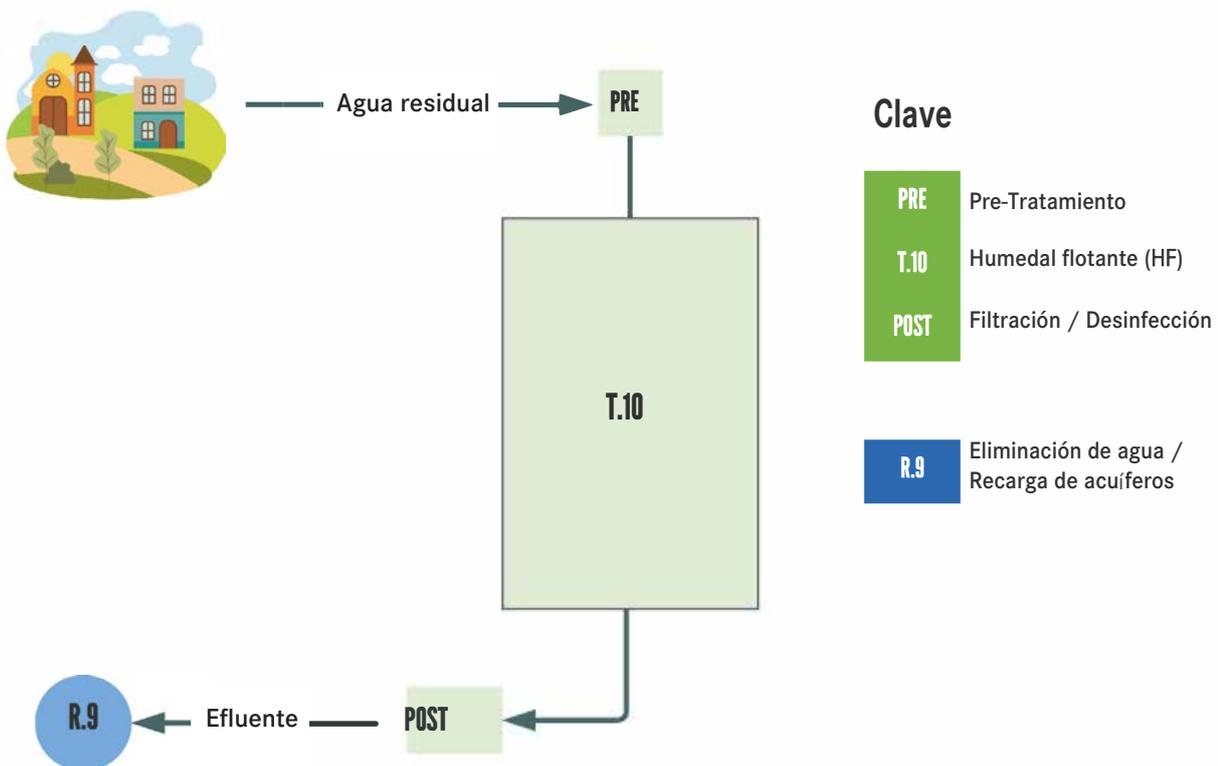


Figura 2: Diseño del sistema



Figura 3: La solución basada en la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales en Penonomé forma parte de una urbanización mayor que se construirá en los próximos años. Se añadirán más sistemas de tratamiento a medida que avance la construcción.



Figura 4: Resumen de las distintas fases de construcción. Movimiento de tierra, instalación del geotextil, instalación de la geomembrana impermeable, así como siembra de plantas, puesta en marcha y humedal flotante plenamente operativo.

Caso 2: Manejo integrado de aguas residuales y biosólidos en un matadero municipal en León, Nicaragua



Aspectos generales Este es un estudio de caso que presenta el manejo de los residuos orgánicos del proceso de sacrificio de ganado vacuno y porcino ubicado en un barrio densamente poblado de León. Si bien este compendio clasifica los sistemas de tratamiento *in situ* en el grupo funcional S, este sistema de tratamiento, en función de su complejidad, se clasifica como tratamiento (semi) centralizado (grupo funcional T). Los desechos orgánicos de la cría de animales, los mataderos o las industrias de procesamiento de alimentos a menudo se encuentran dentro del entorno urbano, lo que provoca la sobrecarga de las redes de alcantarillado existentes, contaminando el aire y los cuerpos de agua en los alrededores. Esta situación se puede encontrar en muchas aglomeraciones urbanas en toda la Región del Gran Caribe. Debido a que las tecnologías de tratamiento presentadas en la parte 2 pueden tratar y transformar los diversos flujos de desechos en productos reutilizables, se seleccionó este estudio de caso para compartirlo en este compendio.

Hasta 2015, las aguas residuales del matadero municipal de León se vertían diariamente sin tratamiento alguno a la red de alcantarillado de la ciudad. El sistema de alcantari-

llado y en especial las estaciones de bombeo presentaban constantes problemas de obstrucción debido a las altas cargas orgánicas y restos de huesos, sangre, grasa, cabello, etc. provenientes del matadero municipal.

Los residuos orgánicos generados en el matadero no fueron considerados de valor y 1,5 toneladas diarias de estiércol del rumen (intestinos) de los bovinos fueron transportados al relleno sanitario municipal de la ciudad de León.

Proceso de planificación Debido a los problemas presentados en el matadero por el mal manejo de los desechos sólidos y líquidos, el municipio buscó una solución para evitar la contaminación del río Chiquito y en general la contaminación por malos olores en los alrededores, afectando la salud y el bienestar de los vecinos del lugar. Primero, se realizó un mapeo de actores relevantes para iniciar las actividades de formulación y llevar a cabo el proyecto.

Se creó un equipo de proyecto con la participación de los siguientes representantes identificados por el mapeo de las partes relevantes: Cooperación internacional, divisiones municipales como proyectos y gestión ambiental, servicios

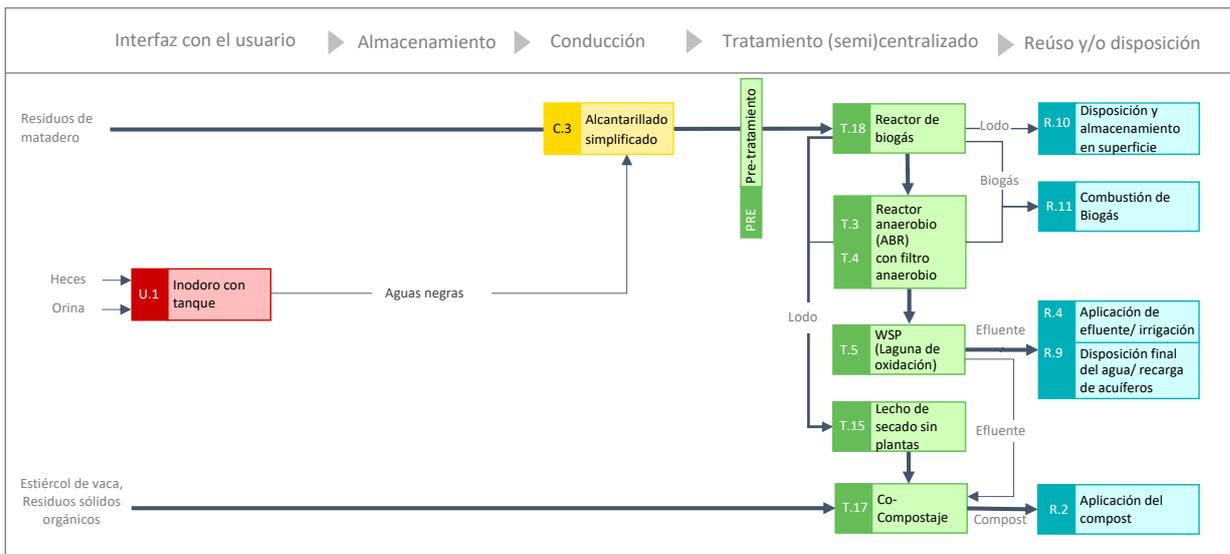


Figura 1: Diagrama del sistema

municipales, el hermanamiento de Hamburgo y BORDA. Una vez identificado el problema, el equipo de proyecto definió una estrategia y un plan de acción específico para alcanzar los objetivos propuestos. Se asignaron recursos humanos, financieros y materiales con base en las actividades planificadas y se estableció un convenio de trabajo. El equipo del proyecto realizó reuniones de seguimiento semanales para llevar un registro de las actividades, el progreso y el presupuesto para tener un proyecto exitoso. Las sesiones de visión, objetivos, evaluación de riesgos y lluvia de ideas se llevaron a cabo de manera participativa con la contribución de todas las partes interesadas. Un comité técnico del proyecto se reunió regularmente para revisar el presupuesto del proyecto y la ejecución de las obras asignadas a ERAMAC (una empresa municipal responsable de implementar el acuerdo de hermanamiento de Hamburgo). El diseño de ingeniería fue desarrollado por BORDA y presentado a ERAMAC para su implementación. El comité técnico se reunió regularmente cada 15 días, o cuando fuera necesario, durante el periodo de ejecución del proyecto para evaluar el estado del proyecto desde las

perspectivas financiera y técnica. Finalmente, se capacitó a los operadores en operaciones y mantenimiento de la infraestructura para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

Aspectos técnicos Se desarrolló el enfoque de tratamiento de aguas residuales y, además del propósito original de reducir la contaminación ambiental, se incorporó el enfoque del nexo “agua-energía-seguridad alimentaria” para lograr una perspectiva holística que se desvía de la visión tradicional del subsector. Esto se refleja en el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en la huerta orgánica y el calentamiento del agua con el biogás generado como subproducto del tratamiento anaerobio y biológico de las aguas residuales.

Se implementaron una serie de módulos para crear una solución descentralizada de tratamiento de aguas residuales (DEWATS) eficaz, eficiente y asequible. La elección tecnológica se basa en el principio de fácil mantenimiento y consumo de energía insignificante. La figura 1 muestra cómo se configuró el sistema.

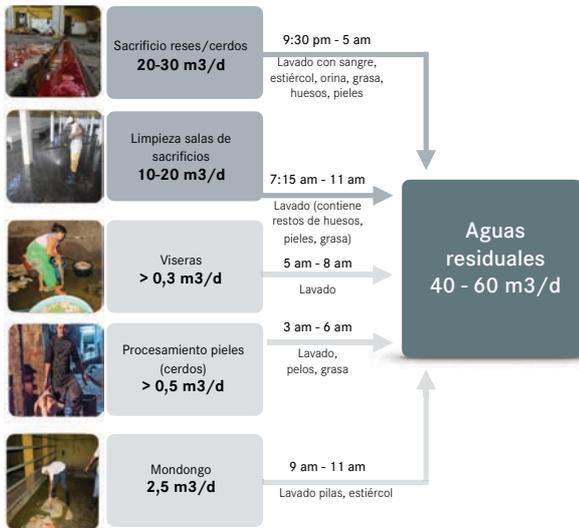


Figura 2: Análisis de efluentes. La sangre tiene el mayor valor contaminante, con un DQO total de 375 000 mg/litro de sangre. El estiércol del granado es el segundo mayor contaminante y contribuye enormemente a los sólidos totales disueltos.

Las instalaciones de DEWATS están diseñadas y dimensionadas de tal manera que el agua tratada cumpla con los parámetros estipulados por las leyes y reglamentos ambientales. El proceso de tratamiento se basa en cuatro pasos:

Reactor de biogás (T.18): Esta etapa involucra la sedimentación y flotación ya que la separación de sólidos es un paso crucial para la eficiencia del sistema en su conjunto. Esta etapa inicial del proceso tiene como objetivo lograr la mayor separación de sólidos sedimentables y sólidos flotantes.

Reactor anaerobio con deflectores (T.3): El efluente es forzado a circular por varias cámaras, las cuales están aisladas entre sí y comunicadas únicamente por tuberías que conducen el fluido, desde la parte superior de una cámara hasta el fondo de la siguiente. A medida que el fluido se desplaza por el filtro anaerobio, entra en contacto con los lodos activos (ricos en microorganismos) presentes en el fondo de cada cámara, lo que facilita la digestión de la materia orgánica presente en el agua.

Filtro anaerobio (T.4): Esta etapa consta de cámaras independientes que contienen rocas volcánicas sobre una rejilla de hormigón que funciona como filtro anaerobio. El cuerpo irregular y la porosidad de las rocas volcánicas facilitan la proliferación de comunidades bacterianas. A medida que el efluente circula de una cámara de tratamiento a otra, se ve obligado a pasar a través de este filtro de roca. Cada cámara facilita la sedimentación de los sólidos aún presentes en el agua.



Figura 3: Acceso de servicio al reactor de biogás de campana flotante (T.18)



Figura 4: Salida de biogás del ABR con carpa (izquierda) y del reactor de biogás con campana flotante (derecha)



Figura 5: Reactor anaerobio con deflectores (T.3) cubierto con una carpa de membrana

Laguna de oxidación (T.5): La última etapa del proceso se realiza aerobiamente en lagunas de oxidación, que facilitan una mayor reducción de la carga orgánica (medida como concentraciones de demanda biológica y química de oxígeno).

Se construyeron los componentes de acuerdo al detalle presentado en la tabla 1.

Tabla 1: Dimensionamiento de componentes

Componente	Tamaño	Tiempo de retención hidráulica [días]
Reactor de biogás para cerdos	21 m ²	02
Reactor de biogás para intestinos	19 m ²	10
Reactor de biogás para ganado	30 m ²	0,6
Reactor anaerobio con deflectores y filtro	120 m ²	2-3

El agua residual tratada se reutiliza mediante un sistema de bombeo solar y riego por goteo en la huerta orgánica del matadero. Aproximadamente 1500 - 2000 m³/año de aguas residuales tratadas se utilizan en el área

de producción agrícola en el matadero y proceso de compostaje. En 2021 se vendieron un total de 20670 kg de abono orgánico. Los biosólidos provienen de los procesos del matadero y de los corrales de los animales. Hasta 16 000 m³/año de aguas residuales tratadas por año cumplen con los límites máximos permisibles para su disposición en el alcantarillado. Los análisis de laboratorio cumplen con el art. 30 sobre los parámetros de calidad de los líquidos a descargar a las redes de alcantarillado como se muestra en la tabla 2.

Cada día se capturan y queman entre 7 m³ y 9 m³ de biogás (aproximadamente 2500 m³/año). Esto equivale al poder calorífico de 12 500 kg de leña que se utilizaba cada año para calentar agua en el matadero. Esto implica una reducción de 2 000 kg CO₂ con respecto al proceso original.

Aspectos institucionales y normativos De acuerdo con la Ley del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (No. 217), corresponde al Ministerio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) establecer las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos naturales de los recursos, a fin de asegurar su uso racional y sostenible.

Actualmente, el Ministerio de Salud (MINSA) tiene la competencia de monitorear y regular las descargas de aguas residuales de actividades domésticas, industriales y comerciales estableciendo límites de acuerdo a la Ley N° 217 y reglamentos relacionados.

Tabla 2: Parámetros de monitoreo de la calidad del agua

Parámetro	Concentraciones en el efluente [mg/l]	Estándar de descarga [mg/l]
DQO	144 - 620	900
DBO ₅	100 - 240	400
SS	30 - 220	400

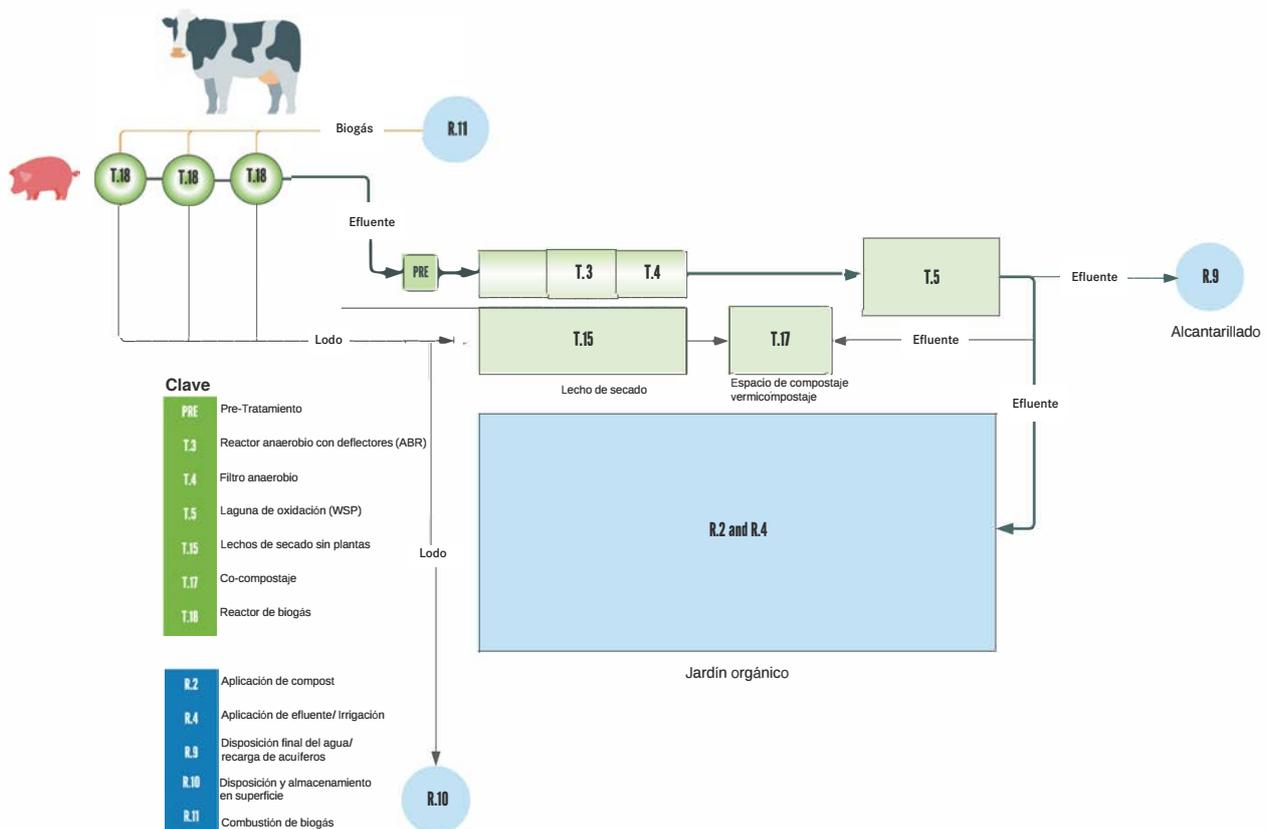


Figura 2: Diseño del sistema

Tabla 3: Resumen de las actividades del proyecto

Componente	Items
Mejora de infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un área para lavado en proceso de sacrificio de vacas • Reemplazo del sistema eléctrico • Diseño y construcción de sistema de drenaje para agua de lluvia y agua de lavado de cerdos • Construcción de techo para el área de pocilga • Rehabilitación de pozo existente • Construcción de un crematorio de biogás o madera para animales desechados • Evaluación de mejoras para el proceso de sacrificio
Mejora de la gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio organizacional • Evaluación de infraestructura
Entrenamiento de personal	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación y desarrollo de capacidades sobre operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales • Capacitación en reutilización de subproductos
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Serie de talleres con los clientes del matadero
Nuevo equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba centrífuga con todos los accesorios para el mantenimiento del biodigestor • Calentador industrial que utiliza biogás para calentar agua para el procesamiento del rumen. • Instrumentos para medir el consumo de CO₂, H₂S, CH₄ y gas • Equipo de protección personal • Mangueras industriales • Trituradora de huesos • Tamiz estático para rumen

Las aguas residuales generadas durante el proceso de sacrificio de ganado vacuno y porcino se clasifican como efluentes industriales y es necesario reducir la carga orgánica antes de descargar el efluente al alcantarillado sanitario.

Aspectos financieros El costo total de la inversión fue de aproximadamente \$ 178 300 USD, incluidas las actividades que se presentan en tabla 3. Costos directos de operación y mantenimiento (no incluye costos de mano de obra) en total \$ 215 USD.

Tabla 4: Costos de operación y mantenimiento

Actividad	Costo [USD]
Rastrillos, palas, botas, guantes y máscaras	85
Costos de combustible y operación para VACTOR	115
Combustible para bomba centrífuga	18
Total	215

Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas Alrededor del 10 al 30 % del agua tratada se utiliza en riego por goteo para la producción de hortalizas en el área de jardín orgánico y compostaje. Actualmente se vende compost hecho en el sitio.

La captura de biogás ha mejorado las condiciones de los trabajadores y del medio ambiente y se utiliza para calentar agua en lugar de leña, lo que produce gases y partículas que afectan la salud humana.

El matadero cumple con la normativa nacional para el vertimiento de aguas residuales.

Gracias a la difusión y comunicaciones a ONG, academias y otros visitantes, el proyecto se ha convertido en un referente nacional para otros mataderos.

El proyecto aún no ha logrado la plena sostenibilidad debido a la falta de recursos y algunos problemas administrativos entre el matadero y la comunidad. Una participación más efectiva y una mayor cooperación del municipio serían fundamentales para resolver los problemas actuales y alcanzar la sostenibilidad a largo plazo.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 263



Figura 7: Diferentes calidades de compost y vermicompost a partir del co-compostaje de sustrato orgánico puro (no contaminado) (T.15, T.17 y residuos vegetales).



Figura 8: El compost se puede enriquecer, por ejemplo, con harina de huesos o virutas de cuerno. En 2021 se vendieron 20 toneladas de fertilizante orgánico.



Figura 9: Un sistema de bombeo solar (véase la figura 7, imagen superior izquierda) suministra 2 000 m³/año de aguas residuales tratadas a través de un sistema de riego por goteo para la producción de hortalizas orgánicas con 34 semilleros (1,2 m x 26 m cada uno).

Caso 3: Tratamiento (semi)centralizado de aguas residuales para nuevos desarrollos habitacionales en Nindirí, Nicaragua



Aspectos generales En 2012 el condominio Monte Cielo, un nuevo desarrollo habitacional ubicado en el municipio de Nindirí, Masaya (Nicaragua) completó la implementación de un sistema de saneamiento para 5 040 personas. El diseño e implementación de la planta de tratamiento estuvo a cargo de BIOSAM (Biosistemas integrados para el saneamiento ambiental S.A.), empresa con sede en Nicaragua dedicada a la gestión ambiental y de aguas residuales.

Aspectos de planificación El desarrollador decidió implementar un sistema de alcantarillado convencional para recolectar las aguas residuales domésticas de 847 viviendas y conducirlas a una planta de tratamiento semi-centralizada que fue diseñada exclusivamente para satisfacer las necesidades del condominio. La figura 1 muestra la lógica de esta solución de saneamiento. De acuerdo con la Ley General del Ambiente, el decreto ministerial de permisos ambientales 20-2017 y el decreto 21-2017 de descarga de aguas residuales, al momento de solicitar los permisos de construcción, los nuevos desarrollos urbanos deben incluir los servicios de agua y saneamiento y los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Este es el caso del entorno del municipio de Nindirí que desde el año 2005

ha experimentado un intenso proceso de urbanización. Los desarrolladores tienen libertad para elegir la tecnología de tratamiento con base en las opciones técnicas disponibles en el mercado, siempre que el efluente cumpla con las regulaciones locales. En Nicaragua, la mayoría de los desarrolladores prefieren los sistemas anaerobios debido a los menores costos de energía.

La Norma Técnica Nicaragüense 05-027-05 “Norma Técnica Ambiental para los sistemas de tratamiento y reúso de aguas residuales” establece las disposiciones y reglamentos técnicos para la ubicación, operación, mantenimiento, manejo y disposición de los efluentes y residuos sólidos generados por los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, incluyendo reúso de agua.

Tabla 1: Datos del proyecto para el diseño de ingeniería

Población [habitantes]	5 040
Asignación diaria [lpcd]	120
Caudal medio diario [l/s]	7
Caudal mínimo [l/s]	3,5
Caudal máximo [l/s]	22,7

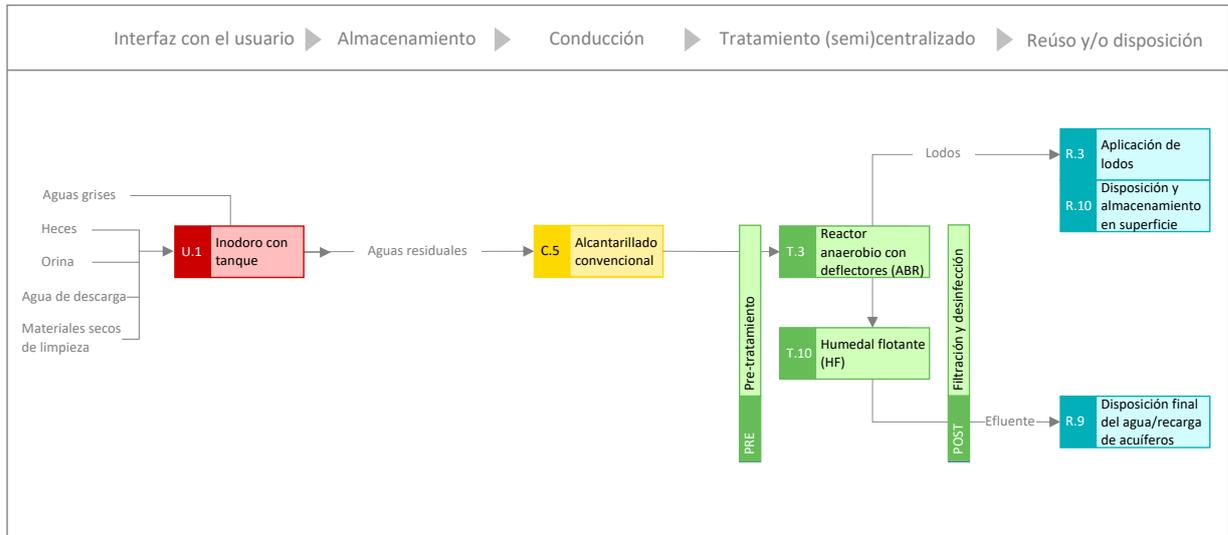


Figura 1: Diagrama del sistema

Aspectos técnicos La tabla 1 presenta los datos iniciales para el dimensionamiento de la planta de tratamiento. El tren de tratamiento implementado en este proyecto incluye los siguientes componentes:

Tratamiento preliminar y pozo de bombeo: Evita el paso de sólidos que puedan obstruir la planta como residuos sólidos, bolsas plásticas, grava y arena. El pozo de bombeo almacena temporalmente las aguas residuales y desde este punto se bombea al tanque de distribución.

Tanque de distribución: Las aguas residuales se bombean al tanque de distribución y luego se distribuyen a los reactores anaerobios.

Reactores anaerobios de flujo ascendente: La finalidad de este ABR circular de cúpula fija es digerir y reducir la materia orgánica presente en el agua, convirtiéndola principalmente en dióxido de carbono y metano. La eficiencia de eliminación de DBO oscila entre el 60 % y el 80 %. Los lodos se retienen

en los reactores durante al menos cien días creando una biomasa activa apta para el tratamiento. Es necesario eliminar periódicamente los lodos viejos. Dado que este lodo ha sido digerido, después de su eliminación puede secarse directamente o compostarse.

Humedal flotante: Actúa como una tercera etapa en el sistema de tratamiento para reducir las concentraciones de sólidos sedimentables, patógenos y nutrientes por macrófitos que flotan de forma natural (jacintos). Esta forma de tratamiento difiere ligeramente del humedal flotante descrito en la ficha tecnológica T.10 y tiene características de una laguna de plantas flotantes (R.8).

Instalación de descarga: Transporta el efluente (aguas residuales tratadas) a un canal para su disposición final.

Eficacia del tratamiento: La siguiente tabla muestra la remoción de materia orgánica en la planta de tratamiento medida como la reducción de la concentración de DBO₅ en el agua.

Tabla 2: Monitoreo de la calidad del agua y eficiencia del tratamiento

Parámetro	Entrada	Después del tratamiento anaerobio	A la salida de la planta (efluente)	Límite según norma	Eficiencia de remoción
DBO ₅ [mg/l]	400	80	24	80	94 %

Aspectos financieros El costo de inversión total para este sistema de tratamiento fue de \$250 000 USD o \$295 USD por hogar. Los costos de operación y mantenimiento se estiman en 0,11 – \$0,15 USD/m³.

Factores de éxito y lecciones aprendidas El sistema de tratamiento resultó ser una solución rentable que cumple con los estándares locales y que no demanda personal altamente especializado. Todo el sistema se construyó en sólo cuatro meses. Este tipo de soluciones se pueden desarrollar de forma modular, por lo que se

pueden agregar módulos adicionales a medida que crece la demanda (inversión incremental). En este caso, en dos años, la demanda alcanzó el 80 % de la capacidad nominal de la planta.

La implementación de este sistema mostró todos los beneficios de un sistema de tratamiento rentable a otros desarrolladores.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 263

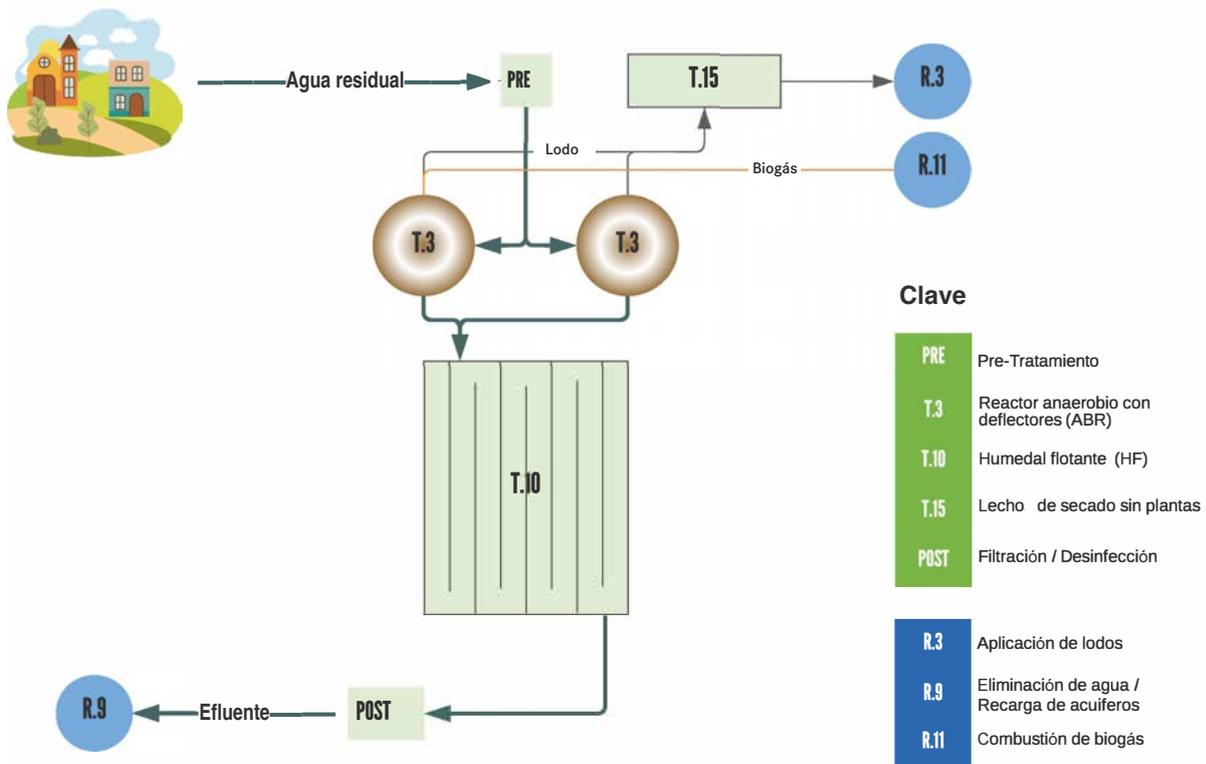


Figura 2: Diseño del sistema



Figura 3: Perspectivas adicionales sobre la solución basada en la naturaleza para el tratamiento de las aguas residuales de las nuevas urbanizaciones en Nicaragua.



Figura 4: Utilizando plástico reforzado con fibra prefabricada u hormigón monolítico (unas 500 personas para este edificio de oficinas en Miramar) el tiempo de instalación puede reducirse a 3 días.

Caso 4: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de campos de golf en un gran resort de playa en Punta Cana, República Dominicana



Aspectos generales Punta Cana (República Dominicana) es uno de los principales destinos turísticos del Caribe con más de 40 resorts y hoteles ubicados a la orilla del mar. Su tamaño varía de 300 a 2 000 habitaciones y el consumo de agua de un complejo es cercano al de una pequeña ciudad de 10 000 a 20 000 habitantes. PROAMSA, un grupo de empresas que presta servicios en el área de tratamiento de aguas residuales incluyendo diseño, construcción, operación y mantenimiento, fue contratada en 2012 para remodelar la planta de tratamiento de un gran resort que no funcionaba adecuadamente.

Aspectos de planificación El equipo de ingeniería decidió realizar una evaluación detallada de todos los componentes de la planta existente para determinar los principales problemas y recomendar medidas de mejora. La figura 1 muestra el enfoque de la empresa para resolver el problema. Durante la evaluación del sistema existente, se identificaron los siguientes problemas:

- No había datos históricos sobre operaciones y parámetros de control
- Las cribas en las obras de entrada no funcionaban
- El flujo de aguas residuales no se distribuyó uniformemente entre los componentes
- Las fases líquida y gaseosa no se separaron correctamente dentro de los reactores anaerobios (RAFA)
- Alta concentración de algas en el efluente
- Baja eficiencia de tratamiento global (solo 45 % de reducción de materia orgánica)



Figura 1: Ciclo de proyecto para la evaluación y mejora de un sistema de tratamiento de aguas residuales existente

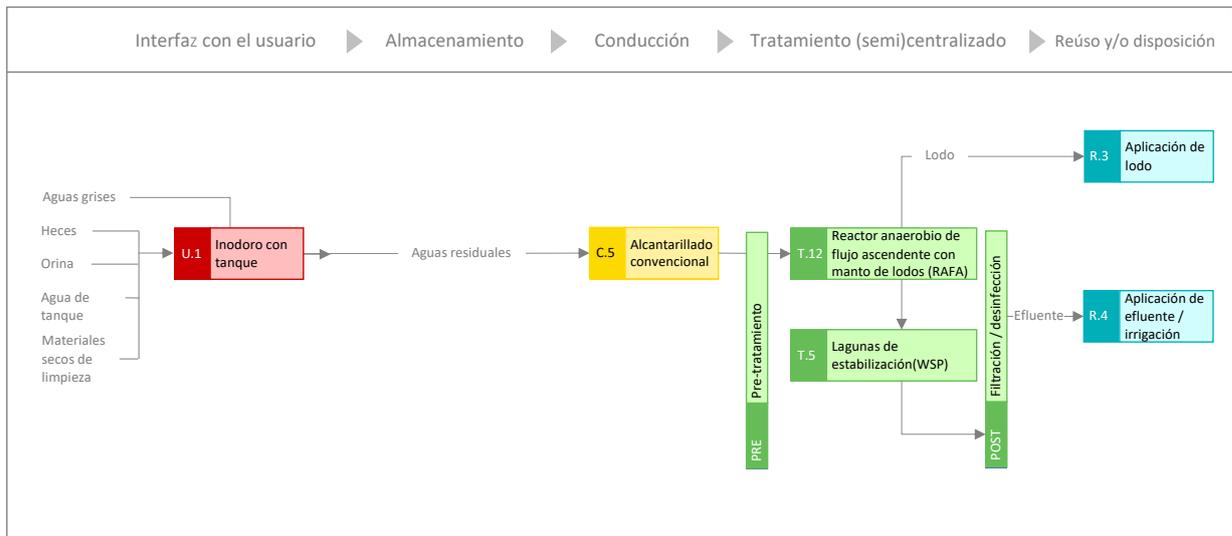


Figura 2: Sistema de saneamiento para la recogida, tratamiento y reutilización de las aguas residuales generadas en el resort

Aspectos técnicos El sistema de tratamiento consta de los siguientes componentes:

Red de recogida (C.5): Comprende todas las tuberías y estaciones de bombeo para recoger y transportar las aguas negras de todos los servicios de saneamiento (baños, incluyendo inodoros con tanques, duchas y lavabos) del resort así como de todos los restaurantes del complejo.

Tratamiento previo (PRE): Cribas fijas instaladas en las obras de entrada de la planta que separan el agua de los sólidos de gran tamaño que pudieran haber sido recogidos en la red de alcantarillado.

Reactores RAFA (T.12): Consisten en cuatro reactores anaerobios de manto de lodos de flujo ascendente en paralelo que digieren la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Lagunas de estabilización (T.5): Dos lagunas facultativas y dos lagunas de maduración.

Unidad de cloración (POST): Forma parte del postratamiento. La unidad de cloración inyecta cloro gaseoso en el efluente para la reducción de patógenos.

Riego de campos de golf (R.4): Sistema de riego de un campo de golf en el mismo resort. El efluente tratado se dirige a lagos ubicados en el campo de golf y luego se bombea para riego mediante un sistema de aspersión.

La figura 3 a continuación muestra el diseño y los componentes principales del sistema de saneamiento en el resort.

El sistema de saneamiento del resort capta, conduce, trata y reutiliza un caudal total de 4 000 m³ de agua al día. Las aguas residuales provienen básicamente de las actividades que se desarrollan en las residencias (habitaciones de hotel) y restaurantes del complejo. Con base en muestras de agua, se determinaron las siguientes concentraciones de materia orgánica en los sólidos suspendidos: DBO₅ = 399 mg/l y SST = 200 mg/l.

Luego de evaluar todos los componentes, se decidió realizar las siguientes mejoras al sistema:

- Se modificaron todos las cribas y se ajustaron a las condiciones locales
- Se modificaron los reactores RAFA para garantizar tiempos de retención hidráulica adecuados, una buena separación de fases (líquido/gas) y una distribución uniforme del flujo entre ellos
- Se mejoró el flujo en las lagunas de estabilización para evitar las zonas muertas (zonas con agua estancada)
- Se rehabilitó el sistema de filtración (postratamiento) y se sustituyó el sistema de desinfección con cloro gaseoso por otro que utiliza cloro en forma líquida.

Adicionalmente, el conteo de algas se redujo significativamente una vez que la planta de tratamiento estuvo operando en su nueva condición (véase tabla 2) y los lagos de agua del campo de golf donde se descarga el efluente tratado mejoraron visiblemente cambiando de color verde por el exceso de algas a azul (véase figura 5).

Factores de éxito y lecciones aprendidas La eficiencia de los reactores RAFA en la evaluación inicial del sistema fue la siguiente: DBO₅ 18 % - 45 %, DQO 12 % - 45 % y SST 25 % - 45 %. Después de implementar todas las mejoras, la eficiencia aumentó a DBO₅ 67 %, DQO 65 % y SST

70 %. Estas eficiencias son congruentes con los rangos de eficiencia típicos reportados en la literatura para reactores RAFA de 65 % - 75 %.

Hay miles de plantas de tratamiento de aguas residuales que se han construido en los últimos 20 a 50 años en América Latina y el Caribe que no están operativas. Este caso demuestra que la infraestructura antigua se puede restaurar, actualizar o mejorar para brindar un tratamiento eficiente.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 263

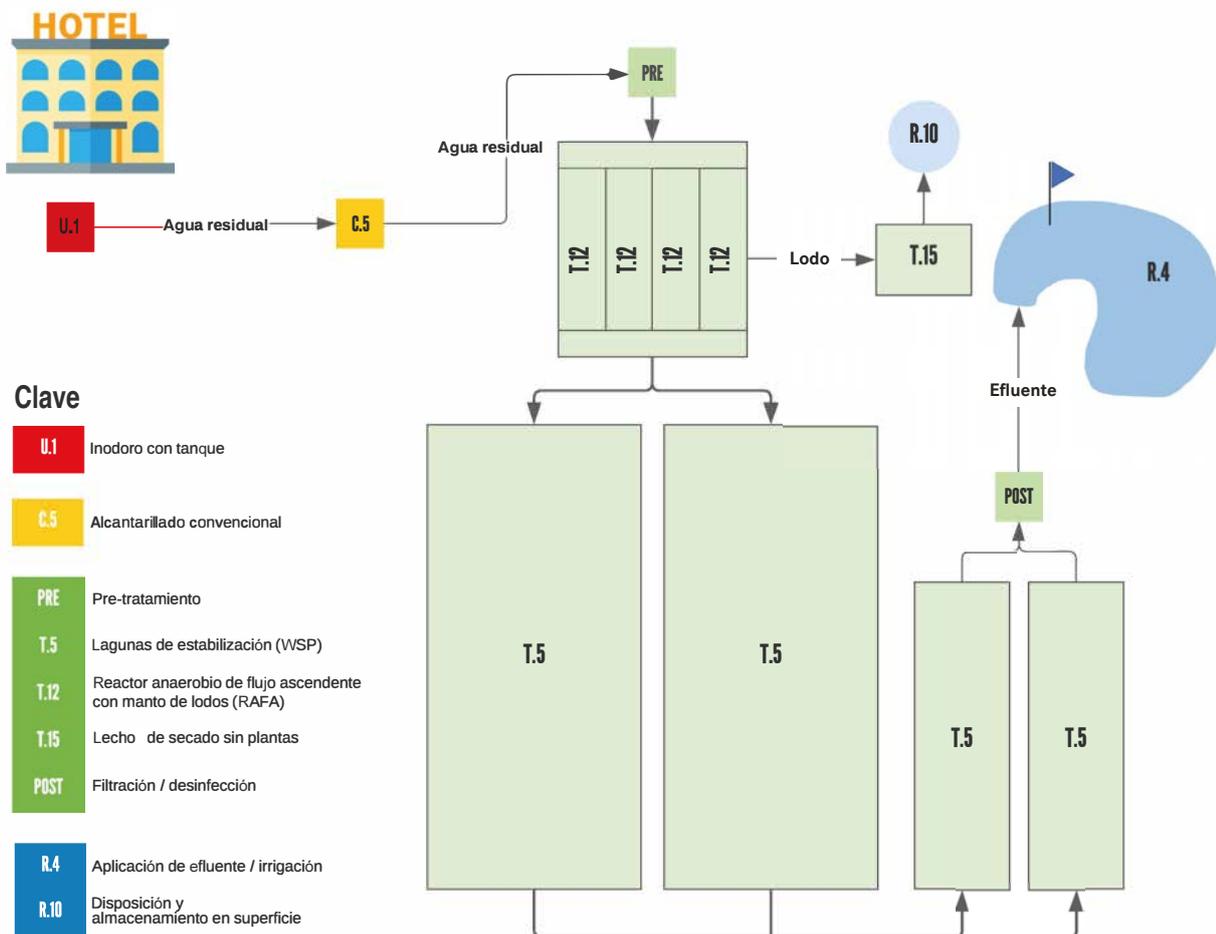


Figura 3: Disposición y principales componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales en el centro turístico

La tabla 1 continuación presenta las principales características de las aguas residuales antes y después del tratamiento y destaca el impacto positivo de la modernización y las mejoras en el sistema.

Tabla 1: Resumen de los parámetros de seguimiento antes y después de las mejoras

Parámetro	Promedio valor antes de mejoras	Promedio valor después de las mejoras	Límite según las normas locales
DBO ₅ [mg/l]	56	26	35
DQO [mg/l]	202	96	130
SST [mg/l]	170	43	40

Tabla 2: Recuento de algas en lagos antes y después de las mejoras

Tipo de algas	Recuento de algas antes de las mejoras	Recuento de algas después de las mejoras
Chlamydomonas sp.	8 1680 000	30 000
Spirulina sp.	20 000	0
Euglena sp.	10 000	0
Chorella sp.	80 000	7 500

La figura 4 muestra algunos de los trabajos de construcción y remodelación que se llevaron a cabo para mejorar el desempeño de las 4 RAFA de la planta de tratamiento.



Figura 4: Mejoras en reactores RAFA para mayor eficiencia en el tratamiento



Figura 5: Mejora en la calidad del agua del lago

Caso 5: Ahorro de agua y saneamiento sostenible con saneamiento basado en contenedores para una comunidad periurbana en el lago de Atitlán, Guatemala



Aspectos generales Guatemala, el país más poblado de América Central con sus 17 millones de habitantes, tiene uno de los peores accesos a saneamiento en América Latina. Se estima que el 35% de la población, es decir, 6 millones de personas no tienen acceso a un servicio de saneamiento básico, llegando al 49% en las zonas rurales. Los sistemas de saneamiento convencionales plantean desafíos fundamentales en comunidades densamente pobladas y de bajos ingresos en Guatemala: alto costo y complejidad técnica de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), dificultad para la contención, el vaciado y la disposición segura de los desechos en los sistemas de saneamiento *in situ* (OSS por sus siglas en inglés), falta de inversión en saneamiento y escasez de agua actual y proyectada en ciertas áreas. Las soluciones de saneamiento adaptables, fuera de la red y basadas en el mercado pueden contribuir a cerrar esta brecha al abordar a las comunidades más vulnerables. Mosan es una empresa social internacional que ofrece servicios circulares de saneamiento seco fuera de la red para asentamientos densamente poblados. Actualmente Mosan opera en el departamento de Sololá en la región del lago de Atitlán, donde viven unas 250 000 personas en 18 municipios, de los cuales más del 95% son indígenas y pertenecen

a diferentes etnias mayas. Un problema importante para las comunidades que viven alrededor del lago es la contaminación del agua, debido a la disposición inadecuada de los desechos, el uso indiscriminado de agroquímicos en el suelo y las aguas residuales no tratadas o tratadas de manera ineficiente.

Con una tasa de pobreza del 81% y una tasa de pobreza extrema del 40%, proporcionar saneamiento mejorado asequible en la región sigue siendo un desafío. De las 71 438 viviendas en la cuenca del lago, el 24% está conectado al sistema de alcantarillado, el 20% tiene fosa séptica y la solución para las casi 40 000 familias restantes está en las letrinas o no tiene solución. Tanto los tanques sépticos como las letrinas son difíciles de vaciar debido al terreno, la estrechez y la pendiente de los callejones, lo que impide el acceso para los camiones de succión, que no son comunes en la región. Solo el 21% de las aguas residuales generadas en la región son tratadas en las pocas PTAR operativas. Esto provoca la eutrofización del agua del lago y un alto nivel de coliformes fecales, lo que da lugar a numerosos casos de enfermedades transmitidas por el agua o los alimentos, que afectan a más del 30% de los niños. Además, solo una de las más de doce plantas está confirmada para cumplir con todas las regulaciones, el resto libera efluentes

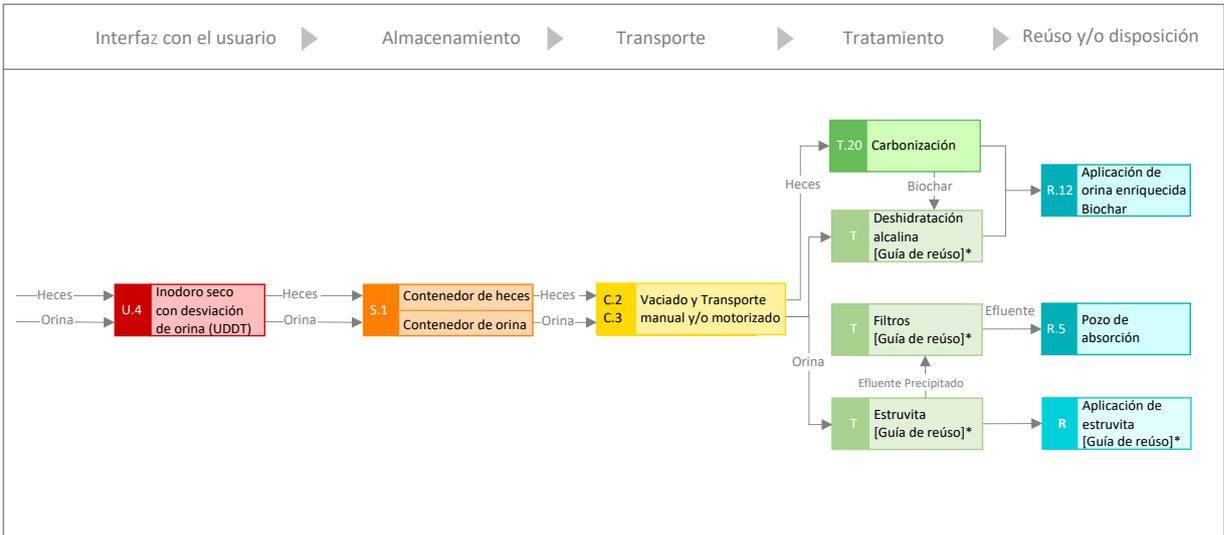


Figure 1: Diagrama del sistema

con una alta demanda química y bioquímica de oxígeno. La ineficiencia de las PTAR se debe a un diseño inadecuado, falta de conocimiento sobre la operación y mantenimiento de las plantas, costos elevados y falta de control sobre los efluentes de aguas residuales.

Aspectos de planificación Mosan ha implementado una solución de saneamiento circular y descentralizada que abarca toda la cadena de saneamiento desde la interfaz con el usuario, la contención, la recolección, el transporte, el tratamiento y la reutilización. Centrado en los sistemas a escala comunitaria, Mosan está aplicando principios de diseño participativo y creación conjunta para permitir la participación de la comunidad, crear conciencia, desencadenar la creatividad de la población y apoyar la innovación local.

El saneamiento inadecuado se aborda proporcionando un sistema de saneamiento ecológico y circular. La solución incluye un inodoro seco con desviación de orina apropiado

para asentamientos densamente poblados o para áreas donde los sistemas de alcantarillado convencionales no son factibles, ya sea por terreno difícil, suelo duro, falta de agua o capacidad de inversión. Mosan garantiza la recolección, contención, transporte y transformación seguros de los excrementos humanos. Luego, la excreta se valoriza en productos que pueden comercializarse. La ilustración de este enfoque circular se muestra en la figura 2.

Este concepto surgió de la visión de brindar a las personas un servicio de saneamiento seguro y asequible que sea fácil de usar e instalar. La solución de Mosan está diseñada para integrar estándares de alta calidad. El objetivo es proporcionar una solución de saneamiento digna y atractiva que se perciba como un progreso moderno y no asociada con alternativas secas pasadas de moda como letrinas de pozo. El sistema está diseñado para brindar resiliencia, seguridad, adaptabilidad, implementación rápida y replicabilidad. Está destinado a una respuesta de emergencia inmediata en caso de fenómenos meteorológicos extremos u otros peligros climáticos, políticos o sociales, así como una solución de saneamiento permanente para asentamientos vulnerables, de bajos ingresos y densamente poblados donde fallan los sistemas de alcantarillado convencionales.

Aspectos técnicos El inodoro diseñado por Mosan es un inodoro doméstico ergonómico, móvil y liviano. El inodoro está en su cuarta iteración y es el resultado de un proceso de diseño participativo que incluyó a usuarios y partes interesadas en Bangladesh, Kenia y Guatemala. Las colaboraciones de la industria permiten la optimización para la producción a gran escala, fácil envío, apilamiento y transporte. El inodoro está hecho de polietileno reciclable.

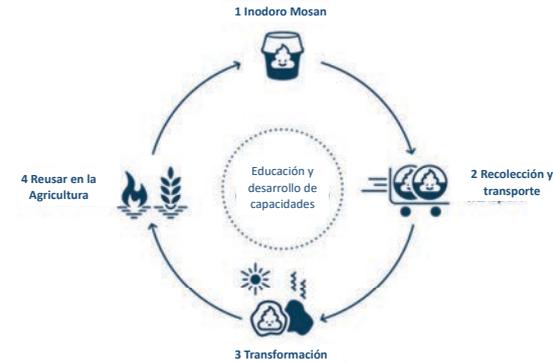


Figura 2: Enfoque circular del saneamiento (figura por Mosan)

Los primeros modelos se produjeron en 2013 y aún son funcionales, lo que permite una vida útil mínima estimada de 8 años. Los materiales son totalmente reciclables. El inodoro Mosan incluye dos recipientes sellables: uno para heces, en el que se utiliza aserrín o astillas de madera para tapar y así evitar olores y moscas, y otro para orina, que tiene una válvula antiolor que se cierra después de su uso. La separación de orina y heces es clave para evitar el olor y asegurar un transporte, transformación y reutilización eficiente de las excretas.



Figura 3: Actividades de servicio (figura por Mosan)

Dos veces por semana, las familias usuarias llevan sus contenedores llenos a un punto de recolección donde el personal de servicio de Mosan proporciona contenedores nuevos. Los contenedores se vacían y limpian, y luego los excrementos se transfieren a barriles más grandes que se transportan al centro de transformación. Actualmente, el transporte se realiza a pie, pero es posible un transporte motorizado o una combinación para las zonas con acceso por carretera. El servicio de Mosan se ilustra a continuación en la figura 3.

En el centro de transformación, las heces mezcladas con aserrín se carbonizan en biochar. La carbonización se explica en la ficha tecnológica R.12 (p. 114).

El biochar puede mejorar las propiedades del suelo y también ha sido reconocido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) como una medida de secuestro de carbono viable y escalable. Múltiples estudios han demostrado el potencial del biochar

para mejorar la salud del suelo. Se han observado aumentos en el intercambio de cationes y la capacidad de retención de agua, así como una mayor absorción de nutrientes, actividad microbiana y rendimiento de fertilizantes con el uso de biochar en el suelo. Los efectos sobre el suelo tienen impactos directos sobre la productividad agrícola. Un estudio en Nepal demostró un aumento de más del 100 % en el rendimiento de los cultivos cuando se usa biochar enriquecido con orina de vaca. El biochar enriquecido (por ejemplo, con orina, compost, digestato, fertilizante mineral disuelto) muestra resultados prometedores dado el efecto portador de nutrientes del biochar que garantiza una liberación lenta, pérdidas reducidas y flujos de nutrientes más equilibrados. Todas estas características hacen que el biochar, aplicado solo o enriquecido, sea atractivo para su uso en la agricultura.

Actualmente, la orina se recolecta y se precipita con óxido de magnesio en estruvita, un mineral de fosfato. Si bien se eligió este proceso principalmente porque es un proceso simple de construir, la estruvita no es un fertilizante completo ya que contiene valores bajos de nitrógeno y nada de potasio.

A través de su operación, el sistema tiene el potencial de contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la prevención de emisiones de metano mediante la contención segura de excretas. Para cuantificar el impacto climático de CBS, la Alianza de Saneamiento Basado en Contenedores (CBSA por sus siglas en inglés) con el apoyo del Consejo de Colaboración de Suministro de Agua y Saneamiento (WSSCC por sus siglas en inglés) se ha sometido a un estudio basado en cuatro operaciones de CBS. Los resultados indicaron que los sistemas CBS ahorran entre 80 y 210 kg CO₂ eq/persona/año. Los ahorros se calcularon contra los sistemas de saneamiento existentes en el lugar, como letrinas de pozo y tanques sépticos. El alto crecimiento demográfico y el uso extendido de soluciones *in situ* en áreas periurbanas pueden generar aumentos en las emisiones de metano que pueden socavar los esfuerzos de mitigación del cambio climático. Además, el metano tiene un potencial de efecto invernadero 80 veces mayor en comparación con el CO₂ en un período de 20 años (GWP20), por lo que tiene un impacto importante en el cambio climático, especialmente a corto plazo. El

último informe del IPCC (Sexto Informe de Evaluación) destaca la oportunidad de reducir las emisiones de metano para aliviar el cambio climático a corto plazo.

El otro potencial de mitigación del cambio climático radica en el uso de biochar en el suelo como medida de secuestro de CO₂. El biochar está hecho principalmente de carbono orgánico muy estable que, cuando se aplica al suelo, puede permanecer encerrado durante varios siglos. Cuando están presentes condiciones anaerobias, que es la mayor parte del tiempo en los sistemas de saneamiento *in situ*, la descomposición de la materia orgánica genera emisiones de metano. Mediante la carbonización y la aplicación de biochar al suelo, se puede bloquear hasta el 50 % del carbono que, de lo contrario, se liberaría como metano, mientras que el resto se liberará mediante el uso del biocombustible creado. En la figura 4 se puede ver una representación visual del ciclo del carbono con y sin carbonización. Además de almacenar carbono, se ha demostrado que el biochar mejora la calidad del suelo y, si se enriquece, puede ser un reemplazo potencial de los fertilizantes sintéticos, lo que conduciría a ahorros adicionales de CO₂.

El impacto ambiental va más allá de su potencial de mitigación del cambio climático para reducir el uso de agua y

limitar de manera efectiva la contaminación por excretas en las casas de las personas, los cuerpos de agua y los entornos comunitarios. La creación de sistemas que tengan un efecto regenerador en el ecosistema es una parte central de la operación. Se pone un fuerte énfasis en la educación, la concientización y el desarrollo de capacidades locales, que son elementos cruciales para garantizar la adopción y sostenibilidad de la solución a largo plazo.

Aspectos institucionales y regulatorios

El modelo de Mosan se centra en varios actores y mercados:

(i) El mercado de “saneamiento como servicio” ofrecido a un comprador que podría ser municipios, ONG u otras instituciones que apoyen a las comunidades locales. Este es un enfoque bastante nuevo y ciertamente no es común en el contexto indígena. Más comúnmente, el acceso al saneamiento es responsabilidad de los hogares individuales o de los municipios a cargo de construir sistemas centralizados.

(ii) El mercado de “saneamiento como servicio” se basa en un modelo de suscripción a los usuarios finales. En el caso de Mosan, los usuarios son los hogares que utilizan el servicio, por el cual pagan una cuota mensual. En la ubicación de servicio actual de Mosan en el pueblo de

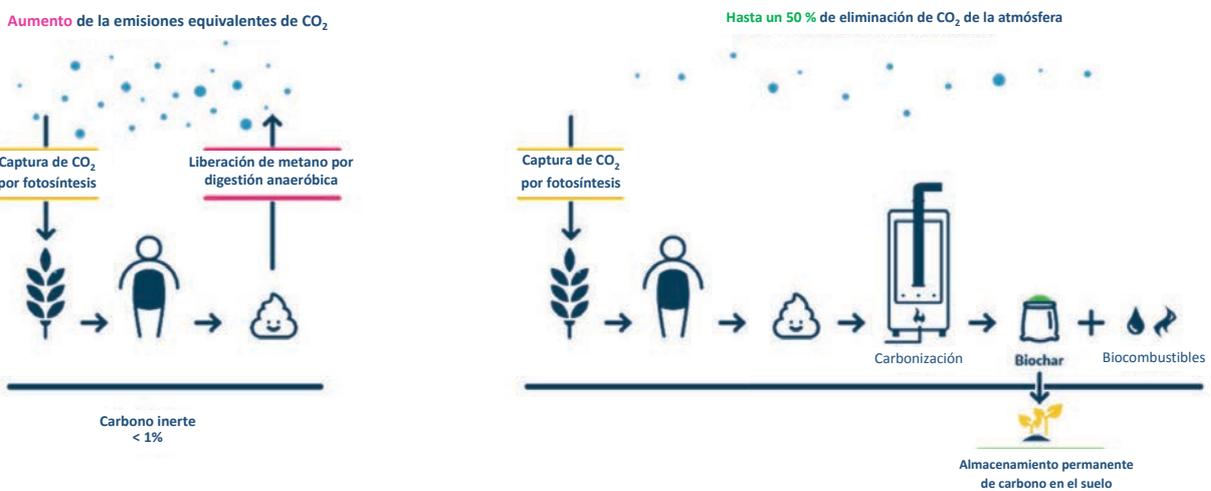


Figura 4: Proceso de captura de CO₂ (figura por Mosan).
Ciclo del carbono con digestión anaerobia (izquierda) y con carbonización (derecha).

Santa Catarina Palopó en Guatemala, la tarifa mensual se fijó en alrededor de \$5 USD, que es el 1,3 % de los ingresos del hogar, suponiendo que un adulto en el hogar gane el ingreso nacional bruto anual. Esto está muy por debajo del punto de referencia de asequibilidad del 3 % al 5 % para agua, saneamiento e higiene definido por el Banco Mundial. La tarifa está destinada a garantizar la participación y el compromiso por parte del usuario y aumentar el valor percibido del servicio a un precio asequible. Al unirse a Mosan, los usuarios reciben el inodoro Mosan, se benefician del intercambio de contenedores en los puntos de recolección y son invitados regularmente a eventos educativos y talleres de desarrollo de capacidades.

(iii) El mercado de comercialización de productos agrícolas tal como biochar como acondicionador de suelo derivado de excrementos humanos crea la comercialización de biochar como fuente de ingreso. Esta comercialización puede volverse progresivamente más significativa y subsidiar partes de los costos operativos del servicio de saneamiento.

(iv) El mercado de carbono: dado su impacto climático positivo, Mosan puede vender créditos de carbono en el mercado voluntario de carbono. Esto puede convertirse en un flujo de ingresos considerable una vez que se alcanza cierta escala.

Mosan está desarrollando su servicio basado en un modelo de diseño, construcción y operación a través del cual la propiedad, la gestión y la O&M permanecen en la empresa. El comprador contrataría a Mosan para implementar y operar un servicio de saneamiento en una comunidad determinada. Si bien en el futuro es posible que no se necesite ninguna obligación del comprador para que el servicio sea financieramente viable, es muy beneficioso establecer algún tipo de apoyo y reconocimiento del gobierno como un entorno local propicio para apoyar la innovación.

Al involucrar a numerosos actores locales, líderes comunitarios, usuarios y prospectos, Mosan facilita la participación, siguiendo un enfoque multisectorial y multiactor. Desarrollar una amplia gama de habilidades y capacidades locales es fundamental para que Mosan sea un facilitador de servicios de saneamiento, cuyo papel es guiar y apoyar un servicio dirigido y operado por representantes de la comunidad. Es importante desarrollar estrategias de implementación inclusivas para garantizar la adaptabilidad y la sostenibilidad del sistema. La participación de las partes interesadas a lo largo del proceso de diseño crea propiedad compartida, aceptación y responsabilidad y

apoya la creación conjunta de soluciones factibles a nivel local y cultural. El objetivo es ir un paso más allá y cultivar el liderazgo de la comunidad en la gestión, el mantenimiento y el crecimiento del servicio después del proceso de diseño. Los servicios de saneamiento liderados por la comunidad se construyen a través del enfoque participativo y brindando agencia a la comunidad para que tenga poder de decisión y liderazgo a largo plazo.

La estrategia de Mosan es escalar a través de franquicias sociales, buscando habilitar servicios liderados por la comunidad, maximizando así su impacto social y ambiental. La replicación a través de franquicias permitiría a Mosan compartir responsabilidades con el franquiciado, quien aprendería a operar el servicio de saneamiento diariamente, mientras que Mosan puede concentrarse en el desarrollo y la innovación. Mosan proporcionaría un paquete de puesta en marcha, capacitación y apoyo para establecer el servicio. Los franquiciados pasarían por una capacitación intensiva y permanecerían en estrecha relación con Mosan.

Aspectos financieros Los ingresos antes mencionados cubren los costos operativos del servicio, mientras que la inversión de capital está cubierta por inversionistas, donantes y utilidades reinvertidas. Dada la modularidad, la pequeña escala y el uso de tecnologías optimizadas de bajo costo, los costos de capital se mantienen bajos.

Los costos operativos directos están dominados en gran medida por los costos laborales. Esto significa que escalar el modelo se traduciría en la creación de empleo en comunidades de bajos ingresos y una mayor actividad económica. Esto también significa que los costos operativos directos pueden optimizarse con la escala y la profesionalización de la operación. Para servicios mayores a 1000 unidades, el costo por servicios por año ascendería a \$300 USD, lo que representa entre el 30 % y poco más del 60 % de los costos promedio de un sistema de alcantarillado, dependiendo del tipo de sistema. Las ventas de fertilizantes y la activación de flujos de ingresos alternativos como las ventas de créditos de carbono ciertamente aumentarían la resistencia de la operación a los riesgos asociados con los contratos con los compradores de servicios de saneamiento. Se podría lograr comercialmente una recuperación del 100 % de los costos operativos si se supone el máximo ingreso posible de estas dos fuentes. Sin embargo, en el corto plazo lo más probable es que haya una brecha que deba ser asegurada muy probablemente a través de contratos públicos o subsidios.

Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas

Es ampliamente reconocido que los servicios de saneamiento necesitan el apoyo, la dirección y la integración legislativa del gobierno. Sin embargo, confiar demasiado en él haría que el negocio se moviera muy lento o incluso se estancara. Si bien la sostenibilidad financiera a corto plazo probablemente dependerá de una combinación de ingresos obtenidos y financiamiento público u otras inversiones, es importante planificar a largo plazo para alcanzar la sostenibilidad a través de los ingresos comerciales. Hasta entonces, mantener este tipo de innovaciones y su difusión ciertamente requerirá una combinación de esfuerzos de múltiples partes interesadas del sector, cooperación, promoción y, lo que es más importante, financiamiento adecuado y vinculado al impacto.

El estigma de la pobreza, rematado con el tabú del saneamiento, hace que la conversación sobre el ‘baño’ sea difícil de tener en una comunidad indígena. La mayoría no quiere revelar que el saneamiento puede ser un problema en su hogar. Mosan hizo una evaluación de la demanda en Santa Catarina Palopó en 2019 donde se entrevistaron 230 hogares. Los entrevistadores eran personas del pueblo, usuarios actuales, para que la gente se sintiera familiar y cómoda. Sin embargo, solo 4 de los 230 hogares

entrevistados informaron tener una letrina de pozo como su solución de saneamiento actual. Aunque según fuentes oficiales, actualmente más del 60 % de la comunidad tiene letrinas de pozo. Casi todas las familias dijeron que usan inodoros conectados a alcantarillado o tanque séptico. Cuando todo el mundo quiere inodoros con descarga de agua, cualquier otra solución podría parecer un paso atrás. Mosan invirtió mucho esfuerzo en el diseño y la imagen para que el inodoro se viera atractivo, moderno, aspiracional y no un compromiso. Nada es más revelador sobre un producto que sus primeros usuarios. Los primeros en adoptar en la comunidad dan forma a la manera en que se ve la solución, por lo que es importante comenzar a involucrar a personas que sean representativas del mercado objetivo. Además, los clientes son los mejores embajadores. En Mosan, los clientes son clave en los procesos de creación conjunta, marketing y eventos de participación comunitaria.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 264



Caso 6: Tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego de cultivos a nivel municipal en Tolata, Bolivia



Aspectos generales El proceso de urbanización de las ciudades en Bolivia y el aumento de la cobertura de los servicios de saneamiento en los últimos años han generado un aumento considerable en la demanda de agua potable y, en consecuencia, han generado más aguas residuales. Este es el caso del municipio de Tolata (5 000 habitantes) en el departamento de Cochabamba, que en 2015 prestó servicios de entubación y alcantarillado a las viviendas, pero no trató sus aguas residuales y, por lo tanto, afectó negativamente a los cuerpos de agua aledaños al casco urbano.

Para enfrentar este desafío, el Gobierno Municipal de Tolata gestionó un proyecto de cooperación con la embajada de Suecia en Bolivia y la Fundación Aguatuya, que promueve la gestión de aguas residuales y el aprovechamiento de los nutrientes presentes en ellas, incluyendo la construcción e implementación de plantas de tratamiento con un enfoque en reutilización.

El municipio de Tolata está ubicado en una región de tradición agrícola. Sin embargo, las precipitaciones en la zona son relativamente bajas (490 mm/año) y se concentran en 3 o 4 meses del año; por lo tanto, existe una demanda insatisfecha de agua de riego en la zona. Las aguas residuales tratadas

ofrecen oportunidades para un suministro de agua de riego suplementario sostenible y fiable para la agricultura. El tratamiento de aguas residuales que cumple con los estándares de calidad (tratamiento apto para la reutilización) y su aplicación a determinados tipos de cultivos asegura una reutilización responsable y segura, y contribuye a la economía local, la salud de las personas y el medio ambiente.

Proceso de planificación En Bolivia, los municipios tienen competencia exclusiva para la planificación y prestación de los servicios básicos en sus territorios. En este caso particular, el municipio firmó un convenio interinstitucional con la embajada de Suecia en Bolivia y Aguatuya para recibir asistencia técnica en la planificación y mejora de los servicios básicos. El municipio, a través de su dirección de servicios básicos, implementó servicios de alcantarillado para todo el casco urbano del municipio. Las viviendas que están conectadas al sistema de alcantarillado vierten sus aguas residuales (aguas negras y grises) a la red. No se permite la conexión de agua de lluvia al sistema de alcantarillado sanitario. La red de alcantarillado lleva el agua recogida a la planta de tratamiento por gravedad. La cadena

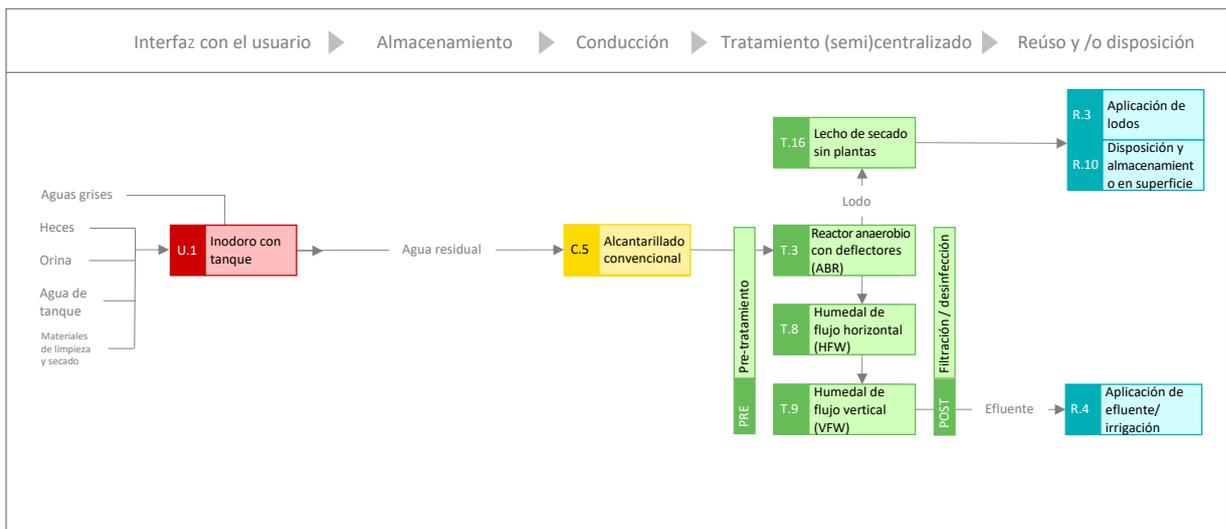


Figura 1: Diagrama del sistema

de saneamiento completa se describe en la figura 1. Se han priorizado tres aspectos al planificar y diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales de Tolata:

- i) Procesos naturales,
- ii) Costo anual equivalente (CAE) más bajo y
- iii) Enfoque de reutilización para usar el efluente tratado para riego agrícola.

El tratamiento de aguas residuales basado en procesos naturales (SbN) reduce el uso de energía externa al sistema de tratamiento, no requiere productos químicos y es amigable con el medio ambiente. Los sistemas que usan menos energía generan menores costos de operación y mantenimiento. El nivel de tratamiento es acorde con la actividad de reutilización, en este caso riego agrícola.

Teniendo en cuenta estos tres principios, se ha seleccionado el tratamiento anaerobio mediante el uso de reactores anaerobios con deflectores (ABR) combinados con un tratamiento secundario en una configuración que combina humedales de flujo horizontal (HFH) y humedales de flujo vertical (HFV). La tecnología ABR fue seleccionada por su

diseño simple, equipo poco sofisticado, alto rendimiento, baja producción de lodos y bajos costos de operación. La principal ventaja del ABR es su capacidad para separar la acidogénesis y la metanogénesis longitudinalmente a lo largo del reactor, lo que permite que diferentes poblaciones de bacterias dominen cada compartimento. La acidificación domina en el primer compartimento y la metanogénesis domina en los compartimentos posteriores (Barber y Stuckey, 1998). Aunque los ABR se han utilizado ampliamente, por sí solos no pueden cumplir con los requisitos de calidad de los efluentes y su uso requiere una combinación con otras tecnologías de tratamiento, de ahí el uso de humedales.

HFH y HFV en plantas de tratamiento de aguas residuales ofrecen un sistema de tratamiento robusto a un costo muy bajo en comparación con las tecnologías de tratamiento convencionales. Además, los biofiltros son necesarios para filtrar a los efluentes del ABR antes de que se descarguen y se reutilicen como riego complementario para cultivos de tallo alto en las áreas circundantes.

Tabla 1: Selección de tecnologías apropiadas

Condiciones locales	Tecnología apropiada a las condiciones locales
Aguas residuales con concentraciones relativamente altas de materia orgánica (DBO>400mg/l). Caudal variable a la entrada de las plantas debido a pequeños sistemas de captación (longitud < 10 km).	Tratamiento anaerobio basado en un reactor anaerobio con deflectores (ABR).
La población de bajos ingresos no puede permitirse pagar tarifas superiores a \$ 1,5 a \$2,0 USD/mes	Procesos naturales que, en la medida de lo posible, no requieren energía ni suministros. Tratamiento anaerobio y humedales artificiales como tratamiento secundario.
Potencial reutilización de agua regenerada para riego de cultivos	Tratamiento sin eliminación de nutrientes (N y P).
Riego de cultivos	Restricción de cultivos a regar con agua tratada pero no desinfectada. Riego restringido a plantas de tallo alto como maíz, alfalfa y forrajes (prohibido el riego de hortalizas como tomate y lechuga). Aplicación de desinfección por cloración (solo cuando sea necesario)

Las tecnologías aplicadas fueron seleccionadas y adaptadas a las condiciones locales de acuerdo con los criterios que se muestran en la tabla 1.

Aspectos técnicos

Diseño de sistemas La configuración del tren de tratamiento de la PTAR (véase figura 2) comienza con un estación de bombeo que recibe las aguas residuales del sistema de alcantarillado municipal y las eleva a través de una criba rotativa que separa todos los sólidos mayores de 3 mm, luego las aguas residuales son conducidas a una separador de grasas con un tiempo de retención hidráulica de 2 minutos. El tratamiento primario se lleva a cabo en dos ABR dispuestos con un tiempo de retención hidráulica de 9 horas durante las cuales la materia orgánica se descompone en compuestos más simples en condiciones anóxicas. Las paredes y sus deflectores están hechos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

El tratamiento secundario se lleva a cabo en una configuración que combina dos HFH y dos HFV dispuestos en paralelo. Los dos HFH ocupan un área de aproximadamente 509 m² (11 x 22,5 m cada uno) y 0,8 m de profundidad. El efluente de los HFH pasa por una cámara de aireación antes de entrar en los HFV, que ocupan una superficie de 508 m² (11 x 22,5 m cada uno) y se rellenan con grava de tamaño medio. El agua residual tratada se recolecta y se dirige a una cámara de cloración que solo se utiliza en situaciones de emergencia como la detección de una

epidemia. Normalmente se prefiere no clorar las aguas residuales tratadas para evitar la formación de compuestos organoclorados tóxicos. Los lodos acumulados en el fondo del ABR son bombeados y depositados en el área de secado de lodos de 194,5 m² (8,5 x 22,8 m) y 0,15 m de profundidad.

Eficacia del tratamiento De acuerdo con la normatividad boliviana vigente, la PTAR debe cumplir con los siguientes parámetros para descargas generales según el Anexo A2 del Reglamento de Contaminación de Aguas de la Ley 1333 del Medio Ambiente. Se consideran vertidos generales aquellos que no se vierten en una masa de agua clasificada. En este caso, el agua se utilizará para riego agrícola y los ríos de la zona no han sido clasificados, por lo que se deben monitorear periódicamente los siguientes parámetros de control de calidad del agua tratada: DBO₅, DQO y SST.

Para determinar la eficiencia del tratamiento de la planta, se realizaron una serie de campañas de monitoreo desde agosto hasta diciembre de 2018. Los resultados del monitoreo se presentan en la tabla 2. Con base en estos resultados, se concluye que es recomendable utilizar el agua tratada solo para el riego de cultivos de tallo alto, gramíneas y forrajes que no sean de consumo humano

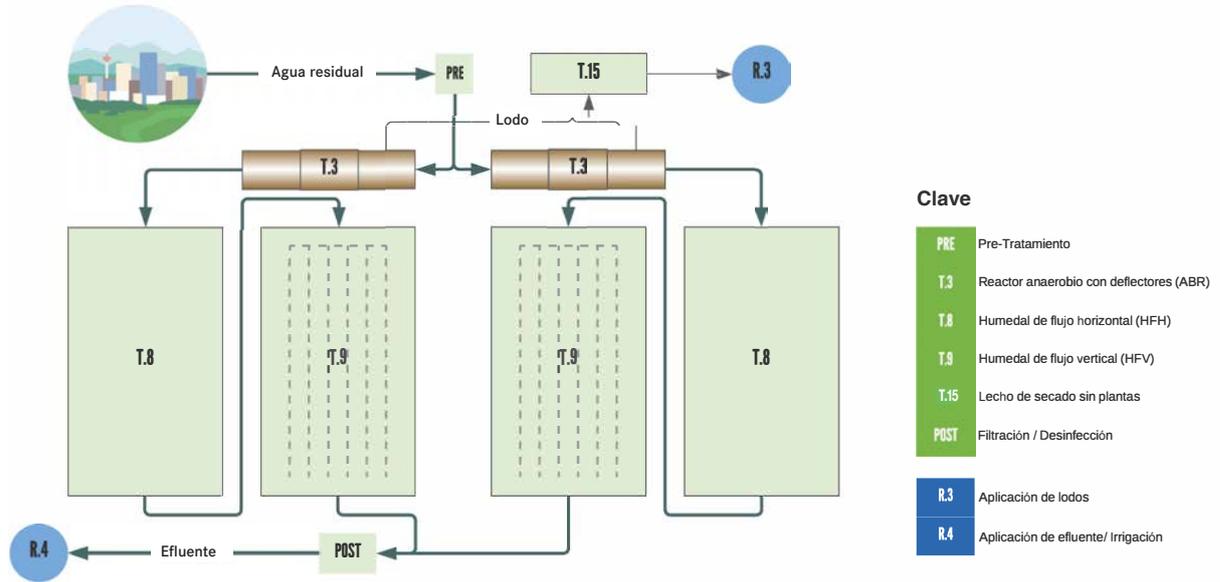


Figura 2: Diseño del sistema

directo para reducir los riesgos a la salud de la población y que tengan una tolerancia moderada a la salinidad. Solo los efluentes tratados pueden usarse en vegetales y otros productos que se comen crudos, utilizando el proceso de desinfección.

Aspectos institucionales y regulatorios

Función de propiedad y gestión: Esta función la cumple el municipio como propietario del servicio/infraestructura. El municipio es responsable de la sostenibilidad del servicio en el tiempo y debe asegurar que las operaciones del día a día se realicen de manera efectiva para satisfacer las necesidades de los usuarios del servicio y la sostenibilidad del servicio en el tiempo.

Función de operación y mantenimiento (O&M): Esta función consiste en realizar actividades diarias de operación y mantenimiento de rutina. Para llevar a cabo esta función se requiere personal con conocimiento de la PTAR y sus procesos. En plantas con un bajo nivel de sofisticación tecnológica, como es el caso de esta planta, la función puede ser realizada por personal capacitado que no requiere formación técnica previa. En este caso, esta función ha sido subcontratada a Aguatuya con base en un contrato de servicios. Este contrato puede renovarse

cada 5 años de común acuerdo entre las partes. Cuando el municipio cuenta con personal capacitado, puede prescindir de servicios externos y operar la planta con recursos propios.

Tabla 2: Resultados del seguimiento (Materia orgánica y sólidos en suspensión)

Parámetro	Límite	Efluente	Tributario según normativa	Eficiencia global de la PTAR
DBO ₅ [mg/l]	396 ± 289	18 ± 12	80	95 %
DQO [mg/l]	795 ± 262	95 ± 61	250	88 %
SST [mg/l]	361 ± 113	18 ± 10	60	95 %

En la tabla 3 se muestra el detalle de la remoción de nutrientes y patógenos según el monitoreo realizado.

Tabla 3: Monitoreo de resultados (Nutrientes y electroconductividad)

Parámetro	Tributario	Efluente
N-NH ₃ [mg/l]	66,00 ± 38,90	41,70 ± 26,50
P [mg/l]	11,80 ± 2,20	8,30 ± 02,20
EC conductividad [m-S/cm]	2,73 ± 1,13	2,35 ± 00,75

Función de servicio técnico: El seguimiento de la calidad del agua (análisis de laboratorio), la resolución de problemas técnicos, los proyectos de mejora y ampliación de una PTAR son algunas de las principales actividades que deben llevarse a cabo para cumplir con esta función. Esta función normalmente la llevan a cabo los ingenieros de aguas residuales. En este caso, esta función ha sido subcontratada a Aguatuya como entidad especializada.

La figura 3 muestra el modelo de gestión funcional implementado en este caso.

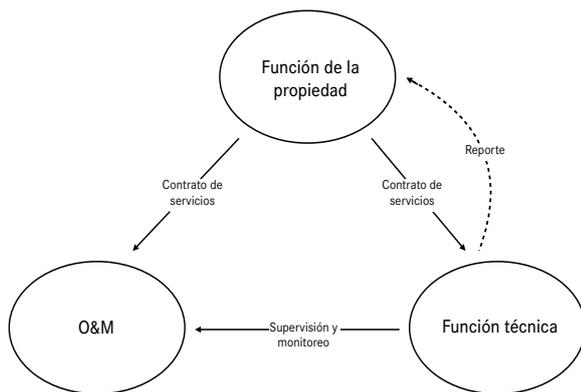


Figura 3: Modelo de gestión funcional

Aspectos financieros Los costos de implementación de la PTAR se determinaron utilizando la metodología de Costo Anual Equivalente (CAE) que considera no solo los costos de inversión inicial, sino también todos los costos recurrentes relacionados con la operación y mantenimiento. Aguatuya adoptó esta metodología para evaluar sus sistemas de tratamiento desde un punto de vista financiero con el fin de optimizar los costos a lo largo del tiempo para que los servicios de tratamiento sean más económicos y accesibles para los municipios y los usuarios finales.

El costo total de la PTAR Tolata es de \$257 694 USD. El costo anual equivalente de esta planta considerando una tasa de descuento anual del 5% es de 39 907 USD/año. De este monto, el 56% (\$22 414 USD/año) corresponde a CAPEX y el 44% (\$16 716 USD/año) a OPEX respectivamente. El costo total per cápita es de \$11 USD/año y el costo por metro cúbico de agua tratada es de \$0,33 USD.

Factores de éxito/fracaso y lecciones aprendidas

Uno de los principales factores de éxito de este caso ha sido la integración al proceso de planificación de los agricultores de las zonas que demandan agua de riego y que, desde el proyecto, han incorporado los efluentes tratados como parte de sus prácticas agrícolas. En este caso, el proceso de saneamiento se ha planificado desde el final, es decir, en el diseño del sistema de tratamiento se ha tenido en cuenta la actividad de reutilización (riego agrícola) con aguas residuales tratadas y se ha implantado la planta en la zona donde se requiere el agua.

Se ha implementado un sistema de riego restringido a cultivos de maíz y alfalfa como una medida de barrera múltiple para evitar el riego de productos que se comen crudos y requieren agua desinfectada para el riego.

Otro factor de éxito ha sido la combinación de reactores anaerobios con humedales verticales que permiten buenas eficiencias de remoción de carga orgánica. Esta solución tecnológica, combinada con la reutilización del efluente tratado en riego, permite cumplir con la normativa de vertidos generales y, al mismo tiempo, abarata sustancialmente los costos de depuración al no tener que retirar nitrógeno y fósforo en los niveles necesarios cuando el agua va a ser descargado a un río o lago.

Referencias y recursos adicionales

se encuentran en la página 264



Figura 4: La participación activa de la comunidad en la planificación de la planta de tratamiento de aguas residuales resolvió un problema que el municipio de Tolata no podía resolver por sí solo: la identificación del terreno necesario. Los agricultores cercanos a la instalación lo ofrecieron a cambio de poder utilizar el efluente tratado para el riego. La planta de tratamiento se diseñó con este fin, es decir, “desde el final” (p. 230 y capítulo X 4.1, p. 186-187).

Glosario

Acondicionador de suelos: un producto que mejora las propiedades de retención de agua y nutrientes en el suelo.

Acuicultura o acuicultura: el cultivo controlado de animales y plantas acuáticas. Véase laguna de acuicultura o acuicultura (R.7) y laguna de plantas flotantes (R.8).

Acuífero: la capa subterránea de roca o sedimento permeable (generalmente grava o arena) que retiene o transmite las aguas subterráneas.

Aerobio: describe los procesos biológicos que ocurren en presencia de oxígeno.

Afluente: el nombre general para el líquido que entra en un sistema o proceso (por ejemplo, aguas residuales).

Agua de arrastre: véase productos, p. 13

Agua de limpieza anal: véase productos, p. 13

Agua superficial: una masa de agua natural o artificial que aparece en la superficie (por ejemplo, arroyo, río, lago, laguna o embalse).

Agua(s) residual(es): el agua usada en cualquier combinación de actividades domésticas, industriales, comerciales o agrícolas, escurrimiento superficial/aguas pluviales y cualquier afluencia/infiltración del alcantarillado.

Aguas cafés: véase productos, p. 12

Aguas grises: véase productos, p. 13

Aguas negras: véase productos, p. 12

Aguas pluviales: véase productos, p. 14

Aguas subterráneas: Agua que se encuentra debajo de la superficie terrestre.

Alcantarilla: un canal abierto o tubería cerrada que se usa para conducir las aguas residuales. Véase C.3-C.5

Alcantarillado condominial: véase C.3. (sinónimo: alcantarillado simplificado)

Alcantarillado convencional: Véase C.5.

Alcantarillado de diámetro pequeño: véase C.4 (sinónimos: alcantarillado libre de sólidos, alcantarillado de paso pequeño).

Alcantarillado de paso pequeño: véase C.4 (sinónimos: alcantarillado libre de sólidos, alcantarillado de diámetro pequeño).

Alcantarillado libre de sólidos: véase C.4 (sinónimos: alcantarillado de paso pequeño, alcantarillado de diámetro pequeño).

Alcantarillado simplificado: véase C.3 (sinónimo: alcantarillado condominial)

Alcantarillado: la infraestructura física de la alcantarilla (a veces se usa indistintamente con aguas residuales).

Anaerobio: describe los procesos biológicos que ocurren en ausencia de oxígeno.

Anóxico: describe el proceso por el cual el nitrato se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno. Este proceso también es conocido como desnitrificación.

Aplicación de compost: véase R.2.

Aplicación de lodos: véase R.3.

Aplicación de orina: véase R.1.

Asentamiento: véase sedimentación (sinónimo).

Bacterias: los organismos sencillos y unicelulares que se encuentran por todas partes del 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 su membrana celular.

Bidón: Un contenedor plástico robusto hecho generalmente de polietileno de alta densidad.

Biochar: véase productos, p. 12 y R.12

Biodegradación: la transformación biológica del material orgánico en compuestos y elementos más básicos (por ejemplo, dióxido de carbono, agua) por acción de bacterias, hongos y otros microorganismos.

Biogás: véase productos, p. 12

Biomasa: véase productos, p. 12

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 residuales y en construcción (para morteros y yesos).

Capa freática: véase nivel freático (sinónimo).

Carbonización: véase T.19.

Clarificador: véase T.1 (Sinónimos: sedimentador, sedimentación, tanque de sedimentación, estanque)

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.17.

Combustión de biogás: véase R.11.

Compost: véase productos, p. 12

Compostaje: el proceso por el cual los componentes biodegradables son descompuestos biológicamente por microorganismos (principalmente bacterias y hongos) en condiciones aerobias controladas.

Conducción: Véase grupo funcional C.

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 DBO_5). 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 la 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 DQO).

Desagüe: Material de desecho que se transporta a través del alcantarillado.

Desarenador: véase PRE, p. 116 (sinónimo: trampa de arena).

Desenlodado: el proceso de eliminación del lodo acumulado en una instalación de almacenamiento o tratamiento.

Deshidratación: el proceso de reducir el contenido de agua del lodo o una pasta. Los lodos deshidratados pueden seguir teniendo un contenido de humedad significativa, pero normalmente están lo suficientemente secos como para ser transportados como un sólido (por ejemplo, con una pala).

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. 116

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 T.18 (sinónimo: reactor de biogás).

Disposición final del agua: véase R.9.

Disposición final: véase grupo funcional R.

Disposición y almacenamiento en superficie: véase R.10

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.

Efluente: véase productos, p. 13

En cuclillas: posición en cuclillas sobre el inodoro, en lugar de sentarse directamente sobre él.

Escorrentía superficial: parte de la precipitación que no se infiltra en el suelo y escurre sobre él.

Escorrentía: véase escorrentía superficial.

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).

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).

Estanque de peces: véase R.7.

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.

Fichas tecnológicas: véase p.36

Filtración terciaria: la aplicación de procesos de filtración para el tratamiento terciario del efluente. Véase POST, p. 116

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.

Fitrado: el líquido que ha pasado por un filtro.

Filtro anaerobio: véase S.5 y T.4.

Filtro de película fija aireado sumergido: véase S.6.

Filtro percolador: véase T.11.

Filtro verde flotante: véase humedal flotante de tratamiento (sinónimo) 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.

Grupo funcional: véase terminología del compendio.

Heces deshidratadas: véase productos (sinónimo: heces secas).

Heces secas: véase productos (sinónimo: heces deshidratadas).

Heces: véase productos, p. 13

Helminto: gusano parásito, 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 muy resistentes a la inactivación y pueden permanecer viables en heces y lodo por varios años.

Humedal construido: la tecnología de tratamiento de aguas residuales que pretende reproducir los procesos que ocurren naturalmente en los humedales, ahora es llamado "humedales". Véase T.7-T.10.

Humedal de flujo superficial: véase T.7.

Humedal de flujo vertical: véase T.9.

Humedal flotante: véase T.10 (sinónimo filtro verde flotante).

Humedal de flujo horizontal: véase T.8.

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.

Inodoro con tanque: véase U.1.

Inodoro de arrastre con desviación de orina (UDFT por sus siglas en inglés): véase U.3

Inodoro seco con desviación de orina (UDDT por sus siglas en inglés): véase U.4

Inodoro seco: véase U.4.

Inodoro: véase U.1, U3 y U.4. Interfaz con el usuario para micción y defecación.

Interfaz con el usuario: véase grupo funcional U.

Irrigación: véase R.4.

Laguna aerobia: una laguna que conforma 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 Anaerobia: Laguna que conforma la primera etapa de tratamiento en las lagunas de estabilización. Véase T.5.

Laguna de macrófitas: véase R.8 (sinónimo: laguna de plantas flotantes).

Laguna de maduración: véase T.15 Laguna aerobia (sinónimo).

Laguna de plantas flotantes: véase R.9 (sinónimo: laguna de macrófitas).

Laguna facultativa: la laguna que conforma la segunda etapa de tratamiento de las lagunas de estabilización. Véase T.5.

Lagunas de espesamiento: véase T.14.

Lagunas de estabilización: véase T.5.

Lagunas de sedimentación/espesamiento: véase T.14

Lavador: alguien que prefiere usar agua para limpiarse después de defecar, en lugar de usar un material seco.

Lecho de infiltración: véase R.6.

Lechos de secado con plantas: véase T.16.

Lechos de secado sin plantas: véase T.15.

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 fecal: véase producto lodo.

Lodo: véase productos, p. 14

Lodos activados: véase T.13.

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.

Metano: un hidrocarburo incoloro, inodoro, inflamable y gaseoso con la fórmula química CH₄. 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, trazas de compuestos orgánicos).

Microorganismo: cualquier entidad microbiológica, celular o no celular, capaz de replicarse o de transferir material genético (por ejemplo, bacterias, virus, protozoos, algas u hongos).

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).

Nutriente: cualquier sustancia que se utiliza para el crecimiento. Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) son los principales nutrientes contenidos en los fertilizantes agrícolas. N y P también son principalmente responsables de la eutrofización de los cuerpos de agua.

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.

Orgánicos: véase productos.

Orina almacenada: véase productos.

Orina: véase productos.

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 filtrante 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. 116 (sinónimo: tratamiento terciario).

Pozo ciego: un término ambiguo usado para describir un pozo de absorción o un tanque de retención (sinónimo: pozo negro).

Pozo de absorción: véase R.5 (sinónimo: pozo de filtrado).

Pozo de lixiviación: pozo de absorción (sinónimo).

Pozo negro: véase pozo ciego (sinónimo).

Pretratamiento: véase PRE, p. 76

Producto: véase terminología del compendio.

Productos de pretratamiento: véase productos.

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.

Quieste: 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 con deflectores (ABR por sus siglas en inglés): véase S.4 y T.3.

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con manto de lodos (RAFA): véase T.12.

Recarga de acuíferos: véase R.9.

Reactor de biogás: véase T.18 (sinónimo digestor anaerobio)

Recolección y almacenamiento/tratamiento: véase grupo funcional S

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 (sinónimo: rejilla, trampa de basura).

Relación C: N: la relación de la masa de carbono con la masa de nitrógeno en un sustrato.

Residuo nocturno: un término antiguo para lodos fecales.

Residuos sépticos: un término antiguo para definir los lodos removidos de tanques sépticos.

Reúso y/o disposición final: véase grupo funcional R.

Reúso: uso de productos finales.

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 cual las excretas y las aguas residuales son colectadas y

conducidas lejos del lugar donde se generan. Un sistema de saneamiento externo se basa en la tecnología de alcantarillado (véanse C.3-C.5) 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 mismo lugar donde se generan.

Saneamiento mejorado: las instalaciones que garantizan la separación higiénica de las excretas del contacto humano.

Saneamiento orientado a los recursos: saneamiento ecológico (sinónimo).

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.

Sedimentación: el asentamiento de partículas en un líquido debido a la gravedad, de forma que se acumulan. También llamado decantación.

Sedimentador: véase T.1 (sinónimos: decantador, tanque de asentamiento, tanque de sedimentación).

Laguna de sedimentación/espesamiento: véase T.14.

Sentador: alguien que prefiere sentarse en el inodoro, que ponerse de cuclillas sobre él.

Séptico: describe las condiciones bajo las cuales ocurren la putrefacción y la digestión anaerobia.

Sistema de saneamiento: véase terminología del compendio.

Sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales (DEWATS por sus siglas en inglés): 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 (SDT) y los sólidos suspendidos totales (SST).

Sullage: un término antiguo para un tanque de almacenamiento de aguas grises.

Superestructura: las paredes y el techo construidos alrededor de un sanitario o baño para ofrecer privacidad y protección al usuario.

Superficie específica: la relación entre el área superficial y el volumen de un material sólido (por ejemplo, el medio filtrante).

Tanque clarificador: véase T.1 (sinónimos: sedimentador, clarificador, tanque de sedimentación)

Tanque de almacenamiento de orina: véase S.1

Tanque de retención subterráneo: véase S.2

Tanque de retención: véase S.2.

Tanque de sedimentación: véase T.1 (sinónimo: sedimentador, clarificador, tanque de asentamiento)

Tanque Imhoff: véase T.2.

Tanque séptico: véase S.3.

Tecnología de saneamiento: véase terminología del compendio.

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. 147

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).

Tiempo de retención: Véase tiempo de retención hidráulica (sinónimo).

Trampa de arena: véase PRE, p. 76 (sinónimo: desarenador).

Trampa de basura: véase PRE, p. 76 (sinónimo: rejilla).

Trampa de grasa: véase PRE, p. 76

Tratamiento (semi)centralizado: véase grupo funcional T.

Tratamiento centralizado: véase grupo funcional T.

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; y se define como el tratamiento de aguas residuales por procesos físicos y/o químicos que implican la sedimentación de sólidos suspendidos, o cualquier otro proceso en el cual la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de las aguas residuales de entrada se reducen por lo menos un 20 % antes de su descarga (UN Habitat y WHO, 2021).

Tratamiento secundario: le sigue al tratamiento primario para lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos del efluente; y se define como el tratamiento posprimario de aguas residuales por procesos generalmente biológicos con un sedimentador secundario y otros procesos, dando como resultado la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de al menos 70 % y una remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de al menos 75 %. También se consideran los procesos de tratamiento biológico natural (UN Habitat y WHO, 2021).

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. 116 (postratamiento).

Úrea: 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 úrea se separa en dióxido de carbono y amonio, para ser usada fácilmente por los organismos en el suelo.

Urinario: véase U.2.

Uso final: la utilización de productos derivados de un sistema de saneamiento (véase uso).

Vaciado y transporte manual: véase C.1.

Vaciado y transporte motorizado: véase C.2.

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).

Referencias y lecturas adicionales

Introducción

- _ Sklar, R., Faustin, C., (2017). *Pit Latrines or Container Based Toilets?* Haiti Priorise. Copenhagen Consensus Center. Denmark. Disponible en: www.copenhagenconsensus.com

Fuera del espacio de actuación seguro del límite planetario de las nuevas entidades (2022)

Los autores afirman que se ha superado el espacio de actuación seguro del límite planetario de las nuevas entidades, ya que la producción y las emisiones anuales aumentan a un ritmo que supera la capacidad global de evaluación y control. Recomiendan tomar medidas urgentes para reducir la producción y la liberación de estas nuevas entidades, incluidos los plásticos y otras sustancias.

- _ Persson, L., Almroth, B.C., Collins, C.D. et al. (2022). *Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities*. *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 3, 1510–1521. Disponible en doi: [10.1021/acs.est.1c04158](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158)

Superar los límites en la sostenibilidad global (2015)

El concepto de límite planetario (LP), introducido en 2009, pretendía definir los límites medioambientales dentro de los cuales la humanidad puede operar con seguridad. Este enfoque ha demostrado ser influyente en el desarrollo de políticas de sostenibilidad global. Steffen et al. ofrecen un análisis y amplían el análisis del marco LP. De los nueve límites originales propuestos, identifican tres (incluido el cambio climático) que podrían llevar al sistema terrestre a un nuevo estado si se superan y que también tienen una influencia dominante en los límites restantes. También desarrollan el marco del LP para que pueda aplicarse de forma útil en un contexto regional.

- _ Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J. et al. (2015). *Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet*. *Science* 2015, 347 (6223), 1259855–1259855. Disponible en doi: [10.1126/science.1259855](https://doi.org/10.1126/science.1259855)

Terminología del compendio

- _ Rose, C., Parker, A., Jefferson, B., & Cartmell, E. (2015). *The Characterization of Feces and Urine: A Review of the Literature to Inform Advanced Treatment Technology*. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 45, 1827–1879. Disponible en doi: [10.1080/10643389.2014.1000761](https://doi.org/10.1080/10643389.2014.1000761)
- _ Morel, A. and Diener, S. (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 en: www.sandec.ch

U.1

- _ Maki, B. (2005). *Assembling and Installing a New Toilet*. Hammerzone.com. Disponible en: www.hammerzone.com (Describes how to install a toilet with full colour photos and step-by-step instructions)
- _ Benett, M. (2018). *How do Pressure Assist Toilets Work. Shower Redefined*. Disponible en: <https://showerredefined.com/how-do-pressure-assist-toilets-work/>
- _ ToiletReviewer.com (2020). *The 5 Best Pressure-Assist Toilets (Reviews and Rankings)* Disponible en: <https://toiletreviewer.com/pressure-assist-toilets>
- _ Vandervort, D. (2007). *Toilets: Installation and Repair*. HomeTips.com. Disponible en: www.hometips.com/bathroom_toilets.html

U.2

- Eawag, Wafler, M., Spuhler, D., Stauffer, B. (2020). *Waterless Urinals and Flush Urinals*. – SSWM Factsheet
Disponible en: <https://sswm.info/humanitarian-crisis/camps/sanitation/user-interface/waterless-urinals-and-flush-urinals>
- von Münch, E. and Dahm, P. (2009). *Waterless Urinals: A Proposal to Save Water and Recover Urine Nutrients in Africa*. 34th WEDC International Conference. Addis Ababa, ET.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/890
- von Münch, E. and Winker, M. (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, DE.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/875

U.3

- EOOS (2020). *Save! - Smart Sanitation for a sustainable future*. Laufen, Laufen, CH.
Disponible en: <http://publications.laufen.com/62524/1173855/>
- EOOS (2018). “The Urine Trap Folder” <https://urinetrap.com/src/assets/img/UrineTrap.pdf>
- EnviroSan (2021). *EaziSplit hybrid low flush urine diversion sanitation technology, EOOS “urine trap” design (SASTEP Project)*, EnviroSan, eThekweni, Disponible en: www.envirosan.co.za
- Mitchell, C., Fam, D., Abeysuriya, K. (2013). *Transitioning to sustainable sanitation - A transdisciplinary project of urine diversion*. Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, Australia
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library
- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. and Drangert, J.-O. (2006). *Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation*. Report 2006-1, EcoSanRes: Ecosan Publications Series, Stockholm, SE.
Disponible en: www.ecosanres.org/publications.htm
- Wostmann Ecoflush urine diverting toilet brochure, manual and user manual,
Disponible en: www.wostman.se/en/support
- von Münch, E. and Winker, M. (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, DE.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/875
- Winker, M. and Saadoun, A. (2011). *Urine and Brownwater Separation at GTZ Main Office Building Eschborn, Germany – Case Study of Sustainable Sanitation Projects*. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA), Eschborn, DE.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/case-studies/details/63

U.4

- Mijthab, M., Anisie, R. & Crespo, O. Mosan (2021). *Combining Circularity and Participatory Design to Address Sanitation in Low-Income Communities*. *Circ.Econ.Sust.* 1, 1165–1191 (2021).
Disponibile en doi: [10.1007/s43615-021-00118-w](https://doi.org/10.1007/s43615-021-00118-w)
- Russel, KC., Hughes, K., Roach, M., Auerbach, D., Foote, A., Kramer, S. and Briceño, R. R. (2019). *Taking Container-Based Sanitation to Scale: Opportunities and Challenges*. *Front. Environ. Sci.* 7:190.
Disponibile en doi: [10.3389/fenvs.2019.00190](https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00190)
- World Bank (2019). *Evaluating the Potential of Container-Based Sanitation*. World Bank, Washington, DC.
Disponibile en: <http://hdl.handle.net/10986/31292>
- World Bank (2019). *Evaluating the Potential of Container-Based Sanitation: SOIL in Cap-Haitien, Haiti*. World Bank, Washington, DC. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/31295>
- World Bank (2019). *Evaluating the Potential of Container-Based Sanitation : x-runner in Lima, Peru*. World Bank, Washington, DC. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/31293>
- von Münch, E. and Winker, M. (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, DE.

S.1

- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. and Drangert, J.-O. (2006). *Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation*. Report 2006-1, EcoSanRes: Ecosan Publications Series, Stockholm, SE.
Disponibile en: www.ecosanres.org/publications.htm
- von Münch, E. and Winker, M. (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, DE.
Disponibile en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/875
- Wald, C. (2022). *The urine revolution: how recycling pee could help save the world*. *Nature*, Springer Nature Ltd., Vol 602, p.202-206. Disponible en: www.nature.com/articles/d41586-022-00338-6
- WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH.
Disponibile en: www.who.int

S.2

- Texas A&M. On-Site Sewage Facilities (OSSF) online facility
Disponibile en: <https://ossf.tamu.edu/holding-tank/>
- Washington State Department of Health, (2021). *Recommended Standards and Guidance for Performance, Application, Design, and Operation & Maintenance Holding Tank Sewage System*
Disponibile en: www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/Pubs/337-006.pdf

S.3

- Crites, R. and Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. WCB/McGraw-Hill, New York, US.
- Mara, D. D. (1996). *Low-Cost Urban Sanitation*. Wiley, Chichester, UK.
(Sizing, volume and emptying calculations and example design solutions – Chapter 6)
- Oxfam (2008). *Septic Tank Guidelines. Technical Brief*. Oxfam GB, Oxford, UK.
Disponible en: policy-practice.oxfam.org.uk
- Polprasert, C. and Rajput, V. S. (1982). *Environmental Sanitation Reviews. Septic Tank and Septic Systems*. Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, TH.
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-2995-7-1519811046.pdf
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*. WEDC, Loughborough University, Leicestershire.
Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

S.4

- Bachmann, A., Beard, V. L. and McCarty, P. L. (1985). *Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor*. *Water Research* 19 (1): 99-106.
- Barber, W. P. and Stuckey, D. C. (1999). *The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review*. *Water Research* 33 (7): 1559-1578.
- Foxon, K. M., Buckley, C. A., Brouckaert, C. J., Dama, P., Mtembu, Z., Rodda, N., Smith, M., Pillay, S., Arjun, N., Lalbahadur, T. and Bux, F. (2006). *Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-urban Settlements*. WRC Report No 1248/01/06, Water Research Commission, Pretoria, ZA. Disponible en: www.wrc.org.za
- Foxon, K. M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F. and Buckley, C. A. (2004). *The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for on-Site Sanitation*. *Water SA* 30 (5) (Special Edition). Disponible en: www.wrc.org.za
- Stuckey, D. C. (2010). *Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment*. In: *Environmental Anaerobic Technology. Applications and New Developments*, H. H. P. Fang (Ed.), Imperial College Press, London, UK.
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

S.5

- Morel, A. and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH.
Disponible en: www.sandec.ch (Short summary including case studies – p. 28)
- von Sperling, M. and de Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume One. IWA Publishing, London, UK. pp. 728-804.
Disponible en doi: 10.2166/9781780402734
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide*. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK.
Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

S.6

- _ EPA Decentralized Wastewater Program (2005). *Decentralized wastewater treatment can protect the environment, public health, and water quality*. Disponible en: www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/mou-public-health-paper-081712.pdf
- _ Siegrist, R. L. (2017). *Introduction to Decentralized Infrastructure for Wastewater Treatment and Water Reclamation. In: Decentralized Water Reclamation Engineering*. Springer, Cham. Disponible en doi: 10.1007/978-3-319-40472-1_1
- _ Utilities Tech Outlook, (2019). *Effective Wastewater Treatment for Sustainable Future. Top 10 Wastewater Management Solution Companies - 2019*. Disponible en: <https://waste-water-management.utilitiestechoutlook.com/vendors/top-wastewater-management-solution-companies-2019.html>

C.1

- _ During, A. et al. (2001). *Start Your Waste Collection Services (p. 49). Waste Transportation Equipment used in Latin America*. ILO Technical Handouts. Lusaka. Zambia. Disponible en: www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_policy/@invest/documents/instructionalmaterial/wcms_asist_8526.pdf
- _ Russel, K., Montgomery, I. (2020). *Container-Based Sanitation Implementation Guide 1st Edition*. Container-Based Sanitation Alliance, UK, London. Disponible en: <https://cbsa.global/resources>
- _ Sustainable Organic Integrated Livelihoods (2019). *Sanitation Safety Planning - Applying the WHO methodology to SOIL's operations in Northern Haiti*. Sustainable Organic Integrated Livelihoods. Haiti. Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-4914-340-1647807343.pdf

C.2

- _ Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- _ Gurski, T., Hennessy, S., Rogers, T., Shaw, J. (2022). *Practical Guide to Available Pit-Emptying Technologies*. Disponible en: <https://fsm-alliance.glueup.com/event/fsm-spotlights-a-practical-guide-to-available-pit-emptying-technologies-48207/>

C.3

- _ Bakalian, A., Wright, A., Otis, R. and Azevedo Netto, J. (1994). *Simplified Sewerage: Design Guidelines*. UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, Washington, D.C., US. Disponible en: <https://documents.worldbank.org/curated/en/home>
- _ Mara, D. D. (1996a). *Low-Cost Sewerage*. Wiley, Chichester, UK. (Assessment of different low-cost systems and case studies)
- _ Mara, D. D. (1996b). *Low-Cost Urban Sanitation*. Wiley, Chichester, UK. pp. 109-139. (Comprehensive summary including design examples)
- _ 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. Disponible en: www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/41/205369/205369_doc.pdf

- _ Mara, D. D., Sleigh, A. and Tayler, K. (2001). *PC-Based Simplified Sewer Design*. University of Leeds, Leeds, UK.
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-3012-7-1520342301.pdf
- _ Watson, G. (1995). *Good Sewers Cheap? Agency-Customer Interactions in Low-Cost Urban Sanitation in Brazil*. Water and Sanitation Division, The World Bank, Washington, D.C., US.
Disponible en: www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/Good_sewer.pdf
- _ Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado - INAA, (2013). *Normativa Alcantarillado Condominial - Guía de Criterios Técnicos para el Diseño de Sistemas* (GAS-GCTD-01.V1-INAA-13), Nicaragua, Managua
Disponible en: www.inaa.gob.ni/node/223
- _ Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (INAA, Ente Regulador) (2013). *Normativa Alcantarillado Condominial - Guía para la Movilización Técnica y Social* (GAS-GMTS-01.V2-INAA-13), Nicaragua, Managua
Disponible en: www.inaa.gob.ni/node/224
- _ Ministerio del Agua, Viceministerio de Servicios Básicos (2013), Reglamento Nacional NB 688, Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Tercera Revisión, Bolivia, La Paz
Disponible en: www.aaps.gob.bo/images/MarcoLegal/ResolucionesMinisteriales/RM-49.pdf

C.4

- _ Azevedo Netto, J. and Reid, R. (1992). *Innovative and Low-Cost Technologies Utilized in Sewerage*. Technical Series No. 29, Environmental Health Program, Pan American Health Organization, Washington, D.C., US.
(A short summary and component diagrams – Chapter 5)
- _ Crites, R. and Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. WCB/McGraw-Hill, New York, US. pp. 355-364.
- _ Mara, D. D. (1996a). *Low-Cost Sewerage*. Wiley, Chichester, UK. (Assessment of different low-cost systems and case studies)
- _ Mara, D. D. (1996b). *Low-Cost Urban Sanitation*. Wiley, Chichester, UK. pp. 93-108.
- _ Otis, R. J. and Mara, D. D. (1985). *The Design of Small Bore Sewer Systems*. UNDP Interregional Project INT/81/047, The World Bank and UNDP, Washington, D.C., US.
Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/home>

C.5

- _ 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, New York, US.
- _ Tchobanoglous, G. (1981). *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. McGraw-Hill, New York, US.
- _ U.S. EPA (2002). *Collection Systems Technology Fact Sheet*. Sewers, Conventional Gravity.832-F-02-007. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., US. Disponible en: www.epa.gov

PRE

- Morel, A. and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH.
Disponible en: www.sandec.ch
- Robbins, D. M. and Ligon, G.C. (2014). *How to Design Wastewater Systems for Local Conditions in Developing Countries*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en doi: 10.2166/9781780404776
- Taylor, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., PDF gratuito disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US.
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough

T.1

- EPA Ireland (1997). *Waste Water Treatment Manuals – Primary, Secondary and Tertiary Treatment*. Wexford, IE.
Disponible en: www.epa.ie
- Taylor, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy*, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US.

T.2

- Alexandre, O., Boutin, C., Duchène, Ph., Lagrange, C., Lakel, A., Liénard, A. and Orditz, D. (1998). *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*. Document technique FNDAE n°22, Cemagref, Lyon, FR.
Disponible en: www.fndae.fr
- Herrera, A. (2006). *Rehabilitation of the Imhoff Tank Treatment Plant in Las Vegas, Santa Barbara Honduras, Central America*. Master thesis, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Texas, Austin, US.
- McLean, R. C. (2009). *Honduras Wastewater Treatment: Chemically Enhanced Primary Treatment and Sustainable Secondary Treatment Technologies for Use with Imhoff Tanks*. Master thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, US.
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK.
Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>
- Taylor, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- WSP (Ed.) (2008). *Philippines Sanitation Sourcebook and Decision Aid*. Water and Sanitation Program, Washington, D.C., US.
Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/home>

T.3

- _ Bachmann, A., Beard, V. L. and McCarty, P. L. (1985). *Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor*. Water Research 19 (1): 99-106.
- _ Barber, W. P. and Stuckey, D. C. (1999). *The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review*. Water Research 33 (7): 1559-1578.
- _ Foxon, K. M., Buckley, C. A., Brouckaert, C. J., Dama, P., Mtembu, Z., Rodda, N., Smith, M., Pillay, S., Arjun, N., Lalbahadur, T. and Bux, F. (2006). *Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-urban Settlements*. WRC Report No 1248/01/06, Water Research Commission, Pretoria, ZA. Disponible en: www.wrc.org.za
- _ Foxon, K. M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F. and Buckley, C. A. (2004). *The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for on-Site Sanitation*. Water SA 30 (5) (Special Edition). Disponible en: www.wrc.org.za
- _ Stuckey, D. C. (2010). *Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment*. In: Environmental Anaerobic Technology. Applications and New Developments, H. H. P. Fang (Ed.), Imperial College Press, London, UK.
- _ Tayler, K. (2018). *Faecal Sludge and Septage Treatment: A guide for low- and middle-income countries*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- _ Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

T.4

- _ Morel, A. and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH. Disponible en: www.sandec.ch
- _ von Sperling, M. and de Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume One. IWA Publishing, London, UK. pp. 728-804. Disponible en doi: 10.2166/9781780402734
- _ Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Rugby, UK. Disponible en doi: 10.3362/9781780449869
- _ Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

T.5

- _ Kayombo, S., Mbvette, T. S. A., Katima, J. H. Y., Ladegaard, N. and Jorgensen, S. E. (2004). *Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual*. UNEP-IETC/Danida, Dar es Salaam, TZ/Copenhagen, DK. Disponible en: www.unep.org
- _ Pena Varón, M. and Mara, D. D. (2004). *Waste Stabilisation Ponds*. Thematic Overview Paper. IRC International Water and Sanitation Centre, Delft, NL. Disponible en: www.ircwash.org
- _ Shilton, A. (Ed.) (2005). *Pond Treatment Technology*. Integrated Environmental Technology Series, IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.iwapublishing.com
- _ Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>

– von Sperling, M. (2007). *Waste Stabilisation Ponds*. Biological Wastewater Treatment Series, Volume Three. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.iwapublishing.com/books/book-series/biological-wastewater-treatment-series

– Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>

T.6

– Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>

– Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. pp. 840-854.

T.7

– Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O.R., von Sperling, M. (2021). *Humedales para tratamiento*. Tratamiento biológico de aguas residuales, volumen siete, IWA Publishing, London, Reino Unido, eISBN: 9781789062526. Disponible en doi: 10.2166/9781789062526

– Kadlec, R. H. and Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*, 2nd Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, US.

– Langergraber, G., Dotro, G., Nivala, J., Rizzo, A., Stein, O.R.(Eds., 2019). *Tecnología de humedales para tratamiento: Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento*. Informe Científico y Técnico (STR) de la IWA No.27, IWA Publishing, London, UK, eISBN: 9781789062342. Disponible en doi: 10.2166/9781789062342

– Vymazal, J. (2008). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review*. In: Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference, M. Sengupta and R. Dalwani (Eds.). pp. 965-980. Disponible en: www.moef.nic.in

T.8

– Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O.R., von Sperling, M. (2021). *Humedales para tratamiento*. Tratamiento biológico de aguas residuales, volumen siete, IWA Publishing, London, Reino Unido., eISBN: 9781789062526. Disponible en doi: 10.2166/9781789062526

– Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M. and von Münch, E. (2011). *Technology Review of Constructed Wetlands. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Greywater and Domestic Wastewater Treatment*. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, DE. Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/930

– Kadlec, R. H. and Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*, 2nd Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, US.

– Langergraber, G., Dotro, G., Nivala, J., Rizzo, A., Stein, O.R. (Eds., 2019). *Tecnología de humedales para tratamiento: Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento*. Informe Científico y Técnico (STR) de la IWA No.27, IWA Publishing, London, UK, eISBN: 9781789062342. Disponible en doi: 10.2166/9781789062342

– UN-HABITAT (2008). *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme. Kathmandu, NP. Disponible en: www.unhabitat.org

– Vymazal, J. Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Environmental Pollution book series, Volume 14, Springer Nature, Cham, CH, ISBN: 978-1-4020-8580-2.

T.9

- _ Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O.R., von Sperling, M. (2021). *Humedales para tratamiento*. Tratamiento biológico de aguas residuales, volumen siete, IWA Publishing, London, Reino Unido, eISBN: 9781789062526. Disponible en doi: 10.2166/9781789062526
- _ Kadlec, R. H. and Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*, 2nd Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, US.
- _ Langergraber, G., Dotro, G., Nivala, J., Rizzo, A., Stein, O.R. (Eds., 2019). *WTecnología de humedales para tratamiento: Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento*. Informe Científico y Técnico (STR) de la IWA No.27, IWA Publishing, London, UK, eISBN: 9781789062342. Disponible en doi: 10.2166/9781789062342
- _ Pucher, B., Langergraber, G. (2019). *Influence of design parameters on the treatment performance of VF wetlands – a simulation study*. *Water Sci Technol* 80(2), 265-273; Disponible en doi: 10.2166/wst.2019.268
- _ Stefanakis A., Akratos C.S. and Tsihrintzis V.A. (2014). *Vertical Flow Constructed Wetlands -Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. Elsevier Science, Amsterdam, NL, ISBN 978-0-12-404612-2; Disponible en doi: 10.1016/C2012-0-01288-4
- _ UN-HABITAT (2008). *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme. Kathmandu, NP. Disponible en: www.unhabitat.org

T.10

- _ Cross, K. et al. (2021). *Nature-based Solutions for Wastewater Treatment*, IWA Publishing, pp. 251-252 Disponible en doi: 10.2166/9781789062267
- _ Eduardo Miguel (n.d.). *Natural Biological Treatment Systems: Aquatic Macrophyte Systems* Disponible en: [www.globalnature.org/bausteine.net/f/6460/EduardoMiguel-Filtrosverdes\(SriLanka\).pdf](http://www.globalnature.org/bausteine.net/f/6460/EduardoMiguel-Filtrosverdes(SriLanka).pdf)
- _ Global Nature Fund, Gattenlöhner, U. et al. (2019). *Filtros Verdes Latinoamérica* Disponible en: www.globalnature.org/bausteine.net/f/9134/FiltrosVerdes_Latinoamerica_2019.pdf
- _ Green Engineering (2021). *Filtros Verdes Flotantes – Como funciona?* Disponible en: <https://greengcorp.com/como-funciona>
- _ Headley T., Tondera K. (2019). *Humedales flotantes*. En: Langergraber, G., Dotro, G., Nivala, J., Rizzo A., Stein O. (editors). *Tecnología de humedales para tratamiento: Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento*. IWA Publishing, London, UK, pp. 112-114. Disponible en doi: 10.2166/9781789062342
- _ Sepulveda (2019). *Sistemas de filtros verdes en flotación (SFVF)*. Disponible en: www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/sistema-de-filtros-verdes-en-flotacion-sfvf-de-sepulveda
- _ Omiflo (2021). *We convert Wastewater in beautiful and functional spaces*. Disponible en: www.omiflo.com/how-it-works

T.11

- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. pp. 890-930. (Detailed description and example calculations)
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>
- U.S. EPA (2000). *Wastewater Technology Fact Sheet. Trickling Filters*. 832-F-00-014. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., US. Disponible en: www.epa.gov (Design summary including tips for trouble shooting)

T.12

- Lettinga, G., Roersma, R. and Grin, P. (1983). *Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor*. *Biotechnology and Bioengineering* 25 (7): 1701-1723. (The first paper describing the process)
- von Sperling, M. and de Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume One. IWA Publishing, London, UK. pp. 741-804. Disponible en doi: 10.2166/9781780402734
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. pp. 1005-1016.
- Vigneswaran, S., Balasuriya, B. L. N. and Viraraghavan, T. (1986). *Environmental Sanitation Reviews. Anaerobic Wastewater Treatment – Attached Growth and Sludge Blanket Process*. Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, TH. Disponible en: www.ircwash.org/sites/default/files/341.2-86AN-2504.p (Good technical overview – Chapter 5)

T.13

- Ludwig, H. F. and Mohit, K. (2000). *Appropriate Technology for Municipal Sewerage/Excreta Management in Developing Countries, Thailand Case Study*. *The Environmentalist* 20 (3): 215-219.
- von Sperling, M. and de Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, Volume Two. IWA Publishing, London, UK. Disponible en doi: 10.2166/9781780402703
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. (Detailed design information)

T.14

- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Available at: www.sandec.ch/fsm_book
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>

T.15

- Montangero, A. and Strauss, M. (2002). *Faecal Sludge Treatment*. Lecture Notes, UNESCO-IHE, Delft, NL. Disponible en: www.sandec.ch
- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US.

T.16

- 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 [PhD dissertation]*. University of Yaounde, Yaounde, CM. Disponible en: www.north-south.unibe.ch
- Koottatep, T., Surinkul, N., Polprasert, C., Kamal, A. S. M., Koné, D., Montangero, A., Heinss, U. and Strauss, M. (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
- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. p. 1578.

T.17

- Hoornweg, D., Thomas, L. and Otten, L. (2000). *Composting and Its Applicability in Developing Countries*. Urban Waste Management Working Paper Series No. 8. The World Bank, Washington, D.C., US. Disponible en: <https://documents.worldbank.org>
- Koné, D., Cofie, O., Zurbrügg, C., Gallizzi, K., Moser, D., Drescher, S. and Strauss, M. (2007). *Helminth Eggs Inactivation Efficiency by Faecal Sludge Dewatering and Co-Composting in Tropical Climates*. *Water Research* 41 (19): 4397-4402.
- Rouse, J., Rothenberger, S. and Zurbrügg, C. (2008). *Marketing Compost, a Guide for Compost Producers in Low and Middle-Income Countries*. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH. Disponible en: www.sandec.ch
- Roman, P., Martinez, M. and Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Experiencias en America Latina. FAO, Rome. Disponible en: www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf
- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>

T.18

- CMS (1996). *Biogas Technology: A Training Manual for Extension*. FAO/TCP/NEP/4451-T. Consolidated Management Services, Kathmandu, NP. Disponible en: www.fao.org
- Mang, H.-P. and Li, Z. (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, DE. Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/877
- Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, UK. Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>
- Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- Vögel, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S. and Zurbrügg, C. (2014). *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. Practical Information and Case Studies. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH. Disponible en: www.sandec.ch

T.19

- Bier, H., EBI Whitepaper (2020). *Biochar-based carbon sinks to mitigate climate change*. European Biochar Industry Consortium e.V. (EBI), Freiburg. Disponible en: www.biochar-industry.com/wp-content/uploads/2020/10/Whitepaper_Biochar2020.pdf
- Gold, M., Cunningham, M., Bleuler, M., Arnheiter, R., Schönborn, A., Niwagaba, C., & Strande, L. (2018). *Operating parameters for three resource recovery options from slow-pyrolysis of faecal sludge*. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 8(4), pp. 707–717. Disponible en doi: 10.2166/washdev.2018.009.
- Inguanzo, M., Dominguez, A., Menéndez, J. A., Blanco, C. G., & Pis, J. J. (2002). *On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 63, pp. 209–222. Disponible en doi: 10.1016/S0165-2370(01)00155-3
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management- Science, Technology and Implementation*. 1st edition, Earthscan, London, UK. ISBN: 978-1-84407-658-1. Disponible en: www.researchgate.net/publication/204978620_On_the_pyrolysis_of_sewage_sludge_The_influence_of_pyrolysis_conditions_on_solid_liquid_and_gas_fractions
- Lewandowski, W. M., Ryms, M., & Kosakowski, W. (2020). *Thermal Biomass Conversion: A Review*. Processes 2020, 8(5), pp. 516; Disponible en doi: 10.3390/pr8050516
- Oaks, R. (2018). *Making Charcoal and Biochar*. A Comprehensive Guide. The Crowood Press Ltd Ramsbury, Marlborough, Wiltshire, England.
- Ok, Y.S., Uchimiya S.M., Chang, S.X., Bolan, N. Editors (2016). *Biochar, Production, Characterization and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Scheub, U., Pieplow, H., Schmidt, H.-P., Draper, K. (2016). *Terra Preta*. Greystone Books, Vancouver, Berkeley.
- Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). *Biochar Stability in Soil: Meta-Analysis of Decomposition and Priming Effects*. GCB Bioenergy, 8, 512-523. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12266>

POST

- NWRI (2012). *Ultraviolet Disinfection. Guidelines for Drinking Water and Water Reuse*. 3rd Ed. National Water Research Institute and Water Research Foundation, Fountain Valley, CA, US. Disponible en: www.nwri-usa.org

- _ Robbins, D. M. and Ligon, G.C. (2014). *How to Design Wastewater Systems for Local Conditions in Developing Countries*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en doi: 10.2166/9781780404776
- _ SSWM Toolbox. www.sswm.info/category/implementation-tools/water-purification (last accessed February 2014)
- _ Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- _ Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US. pp. 1035-1330.
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.1

- _ von Münch, E. and Winker, M. (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, DE. Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/875
- _ Rich Earth Institute (2022). *Fertilizer from Urine-Farming*. Rich Earth Institute News. Disponible en: <http://richearthinstitute.org/rethinking-urine/farming/>
- _ Rich Earth Institute (2021). *Urine my Garden. A step-by-step guide to fertilizing with urine in home gardens*. Rich Earth Institute. Disponible en: http://richearthinstitute.org/wp-content/uploads/2021/05/UrineMyGarden_DIYGuide.pdf
- _ RF AGRICULTURE (2020). *What is a Fertilizer Injector? Commercial Agriculture*. wholesaleagriculture.home.blog/2020/08/19/what-is-a-fertilizer-injector/ Disponible en: <https://wholesaleagriculture.home.blog/2020/08/19/what-is-a-fertilizer-injector/>
- _ Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T. A., and Dagerskog, L. (2010). *Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production*. EcoSanRes, Stockholm Environment Institute, Stockholm, SE. Disponible en: www.susana.org/library
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.2

- _ Roman, P., Martinez, M. and Pantoja, A., (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Experiencias en America Latina. FAO, Rome. Disponible en: www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf
- _ Strande, L., Rontelap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- _ The US Compost Council (2001). *Field Guide to Compost Use*. Edition, Bethesda, MD. Disponible en: www.mncompostingcouncil.org/uploads/1/5/6/0/15602762/fgcu.pdf
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.3

- _ Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- _ 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., US. Disponible en: 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., US. Disponible en: www.epa.gov
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.4

- _ Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. and Bahri, A. (Eds.) (2010). *Wastewater Irrigation and Health. Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. Earthscan, IDRC and IWMI, London, UK. Disponible en: www.idrc.ca y www.iwmi.cgiar.org
- _ FAO (2012). *On-Farm Practices for the Safe Use of Wastewater in Urban and Peri-Urban Horticulture*. Training Handbook for Farmer Field Schools. FAO, Rome, IT. Disponible en: www.fao.org
- _ Goyal, M.R., Editor (2015). *Sustainable Micro Irrigation*. Volume 1. Principles and Practices. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, US.
- _ Goyal, M.R., Tripathi, V.K. Editors (2016). *Research Advances in Sustainable Micro Irrigation - Wastewater Management for Irrigation*. Volume 8. Principles and Practices. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, US.
- _ Palada, M., Bhattarai, S., Wu, D., Roberts, M., Bhattarai, M., Kimsan, R. and Midmore, D. (2011). *More Crop Per Drop. Using Simple Drip Irrigation Systems for Small-Scale Vegetable Production*. The World Vegetable Center, Shanhua, TW. Disponible en: www.avrdc.org
- _ Pescod, M. B. (1992). *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 47. FAO, Rome, IT. Disponible en: www.fao.org
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 2: Wastewater Use in Agriculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int
- _ Winpenny, J., Heinz, I. and Koo-Oshima, S. (2010). *The Wealth of Waste. The Economics of Wastewater Use in Agriculture*. FAO Water Reports 35. FAO, Rome, IT. Disponible en: www.fao.org
- _ Zandee, M. (2012). *Risk of Clogging of Drip-Line Emitters during Urine Fertilization through Drip Irrigation Equipment*. Eawag, Dübendorf, CH. Disponible en: www.eawag.ch/stun

R.5

- _ 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, US. Disponible en: www.mtu.edu/peacecorps/programs/civil/theses (Detailed construction instructions)
- _ Mara, D. (1996). *Low-Cost Urban Sanitation*. Wiley, Chichester, UK. pp. 63-65. (Dimensioning calculations) Oxfam (2008). *Septic Tank Guidelines*. Technical Brief. Oxfam GB, Oxford, UK. p. 4. Disponible en: www.policy-practice.oxfam.org.uk

- _ Polprasert, C. and Rajput, V. S. (1982). *Environmental Sanitation Reviews. Septic Tank and Septic Systems*. Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, TH. pp. 31-58.
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-2995-7-1519811046.pdf

R.6

- _ Morel, A. and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH.
Disponible en: www.sandec.ch
- _ Polprasert, C. and Rajput, V. S. (1982). *Environmental Sanitation Reviews: Septic Tank and Septic Systems*. Environmental Sanitation Information Center, AIT, Bangkok, TH.
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-2995-7-1519811046.pdf
- _ Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- _ U.S. EPA (1980). *Design Manual. Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*. EPA 625/1-80-012. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, US. Disponible en: www.epa.gov

R.7

- _ Cross, P. and Strauss, M. (1985). *Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture*. International Reference Centre for Waste Disposal, Dübendorf, CH.
- _ Edwards, P. and Pullin, R. S. V. (Eds.) (1990). *Wastewater-Fed Aquaculture*. Proceedings: International Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture, Calcutta, IN. (Compilation of topical papers)
- _ Iqbal, S. (1999). *Duckweed Aquaculture. Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries*. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH.
Disponible en: 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. The World Bank, Washington, D.C., US. 1987.
Disponible en: <https://documents.worldbank.org>
- _ Joint FAO/NACA/WHO Study Group (1999). *Food Safety Issues Associated with Products from Aquaculture*. WHO Technical Report Series 883. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int
- _ Mara, D. D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Earthscan, London, UK. pp. 253-261.
- _ Rose, G. D. (1999). *Community-Based Technologies for Domestic Wastewater Treatment and Reuse: Options for Urban Agriculture*. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, CA.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2997
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.8

- _ Iqbal, S. (1999). *Duckweed Aquaculture. Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries*. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH.
Disponible en: www.sandec.ch
- _ McDonald, R. D. and Wolverton, B. C. (1980). *Comparative Study of Wastewater Lagoon with and without Water Hyacinth*. Economic Botany 34 (2): 101-110.

- _ Reddy, K. R. and Smith, W. H. (Eds.) (1987). *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Magnolia Publishing Inc., Orlando, FL, US.
- _ Skillicorn, P., Spira, W. and Journey, W. (1993). *Duckweed Aquaculture. A New Aquatic Farming System for Developing Countries*. The World Bank, Washington, D.C., US. Disponible en: <https://documents.worldbank.org>
- _ Tayler, K. (2018). *Tratamiento de lodos fecales: Una guía para los países de ingresos medios y bajos*, Practical Action Publishing, Reino Unido., Disponible en: <https://practicalactionpublishing.com/book/2541/tratamiento-de-lodos-fecales>
- _ 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, OH, US. Disponible en: www.epa.gov
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.9

- _ ARGOSS (2001). *Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from on-Site Sanitation*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142, Keyworth, UK. Disponible en: www.bgs.ac.uk
- _ Newcomer, M.E., Hubbard, S.S., Fleckemstein, J.H., Maier, U. Schmidt, C., Thullner, M., Ulrich, C., Flipo, Y.R. (2016). *Simulating bioclogging effects on dynamic riverbed permeability and infiltration*. In AGU Advances, Water Resources Research, Volume 52, Issue 4, Pages 2883-2900
Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015WR018351>
- _ Seiler, K. P. and Gat, J. R. (2007). *Groundwater Recharge from Run-off, Infiltration and Percolation*. Springer, Dordrecht, NL
- _ Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, 4th Ed. (Internat. Ed.). McGraw-Hill, New York, US
- _ WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Volume 3: Wastewater and Excreta Use in Aquaculture. World Health Organization, Geneva, CH. Disponible en: www.who.int

R.10

- _ Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (Eds.) (2014). *Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación*. IWA Publishing, London, UK. Disponible en: www.sandec.ch/fsm_book
- _ 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., US. Disponible en: 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., US. Disponible en: www.epa.gov

R.11

- _ Doublein, D. and Steinhauser, A. (2011). *Biogas from Waste and Renewable Resources*, 2nd Ed. Wiley-VCH, Weinheim, DE.
- _ Kossmann, W., Pönitz, U., Habermehl, S., Hoerz, T., Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., von Klopotek, F., Krieg, A. and Euler H. (1999). *Biogas Digest Volume II – Application and Product Development*. GTZ, Eschborn, DE.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/526
- _ Lohri, C. (2009). *Evaluation of Biogas Sanitation Systems in Nepalese Prisons*. Sandec News, 11, 20-21 Eawag (Department Sandec), Dübendorf and ICRC, Geneva, CH. Disponible en: www.sandec.ch

- _ Mang, H.-P. and Li, Z. (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, DE. Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/877
- _ Vögeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S. and Zurbrügg, C. (2014). *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. Practical Information and Case Studies. Eawag (Department Sandec), Dübendorf, CH. Disponible en: www.sandec.ch

R.12

- _ Bier, H., EBI Whitepaper (2020). *Biochar-based carbon sinks to mitigate climate change*. European Biochar Industry Consortium, Freiburg, Germany. Disponible en: www.biochar-industry.com/why/
- _ Buss, W., Bogush, A. Ignatyev, K., Masek, O. (2020). *Unlocking the fertilizer potential of waste derived biochar*. In ACS Sustainable Chem. Eng. 8, 12295-12335. Disponible en doi: 10.1021/acssuschemeng.0c04336
- _ European Biochar Industry Consortium (2022). *European Biochar Market Report 2021/2022*. European Biochar Industry Consortium. Freiburg. Germany. Disponible en: www.biochar-industry.com/market-overview-21-22/
- _ Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). *A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, pp. 359–378. Disponible en doi: 10.1016/j.rser.2015.01.050
- _ Kuzyakov, Y., Bogomolova, I., Glaser, B. (2014). *Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific 14C analysis*. Soil Biology & Biochemistry, Volume 70, March 2014, Pages 229-236 Soil Biology & Biochemistry. Disponible en: wwwuser.gwdg.de/~kuzyakov/SBB_2014_Kuzyakov_BC-BioChar-14C-CO2-Lipids-MB-BPCA.pdf
- _ Latawiec, A. E., Królczyk, J. B., Kuboń, M., Szwedziak, K., Drosik, A., Polańczyk, E., Grotkiewicz, K. & Strassburg, B. B. (2017). *Willingness to Adopt Biochar in Agriculture: The Producer's Perspective*. Sustainability, 9(4), 655. Disponible en doi: 10.3390/su9040655
- _ Nanda, S., Dalai, A. K., Berruti, F., & Kozinski, J. A. (2016). *Biochar as an Exceptional Bioresource for Energy, Agronomy, Carbon Sequestration, Activated Carbon and Specialty Materials*. Waste & Biomass Valorization, 7, pp. 201–235. Disponible en doi: 10.1007/s12649-015-9459-z
- _ Ok, Y.S., Uchimiya S.M., Chang, S.X., Bolan, N. Editors (2016). *Biochar, Production, Characterization and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida, US.
- _ Scheub, U., Pieplow, H., Schmidt, H.-P., Draper, K. (2016). *Terra Preta*. Greystone Books, Vancouver, Berkeley.
- _ Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). *Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects*. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 19, pp. 191–215. Disponible en doi: 10.1007/s11157-020-09523-3

Tecnologías de saneamiento emergentes

- _ Bill & Melinda Gates Foundation's work on water, sanitation & hygiene: www.gatesfoundation.org/our-work/programs/global-growth-and-opportunity/water-sanitation-and-hygiene
- _ City Wide Inclusive Sanitation Global Initiative: www.worldbank.org/en/topic/sanitation/brief/citywide-inclusive-sanitation
- _ Sanitation and Hygiene Fund (formally Water Supply and Sanitation Collaborative Council, WSSCC): www.shfund.org
- _ Water Research Commission: www.wrc.org.za
- _ Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA): www.susana.org
- _ Faecal Sludge Management Alliance (FSMA): www.fsm-alliance.org
- _ South African Sanitation Technology Enterprise Programme: www.sastep.org.za
- _ ANSI website "ISO Non-Sewered Sanitation Standards" on "Reinvented Toilet Technologies in Development": <https://sanitation.ansi.org/RTTech>

Tecnologías de saneamiento emergentes: WeCo Autonomous Flush Toilet

- _ Cid, C., Hoffmann, M. R.: (2018). *Design, implementation, and improvements on an integrated electrochemical wastewater treatment and recycling system for onsite sanitation in the developing world*. In: 256th American Chemical Society National Meeting & Exposition, 19-23 August 2018, Boston, MA.
Disponible en: <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:20181109-153433840>
- _ CaltechAUTHORS (2022). *Design, implementation, and improvements on an integrated electrochemical wastewater treatment and recycling system for onsite sanitation in the developing world*.
Disponible en: <https://authors.library.caltech.edu/90811/>
- _ Hiolski, E. (2019). *The Toilet Gets a Makeover*. ACS Central Science, 5(8), 1303-1306.
Disponible en doi: 10.1021/acscentsci.9b00769
- _ Huang, X., Qu, Y., Cid, C. A., Finke, C., Hoffmann, M. R., Lim, K., & Jiang, S. C. (2016). *Electrochemical disinfection of toilet wastewater using wastewater electrolysis cell*. Water Research, 92, 164-172.
Disponible en doi: 10.1016/j.watres.2016.01.040
- _ Kumar Varigala, S., Hegarty-Craver, M., Krishnaswamy, S., Madhavan, P., Basil, M., Rosario, P., Raj, A., Barani, V., A. Cid, C., Grego, S., & Luetzgen, M. (2020). *Field testing of an onsite sanitation system on apartment building blackwater using biological treatment and electrochemical disinfection*. Environmental Science: Water Research & Technology, 6(5), 1400-1411.
Disponible en doi: 10.1039/C9EW01106D
- _ R. Hoffmann, M., Cho, K., Cid, C., & Yan, Q. (2014a, février 24). *Development of a Self-Contained, PV-Powered Domestic Toilet and Electrochemical Wastewater Treatment System Suitable for the Developing World*. 3rd Annual International Conference on Sustainable Energy and Environmental Sciences (SEES 2014). Annual International Conference on Sustainable Energy and Environmental Sciences. Disponible en: https://doi.org/10.5176/2251-189X_SEES14.27
- _ Zöllig, H. (2015). *Electrolysis for the Treatment of Stored Source-Separated Urine* (p. 163 p.) ETH Zurich.
Disponible en doi: 10.3929/ETHZ-A-010549050

Tecnologías de saneamiento emergentes: SASTEP Programme

- _ Water Research Commission (2020). *SASTEP - Reinvented Toilet Technology Portfolio*, Department of Science & Technology, Republic of South Africa. Disponible en: www.sastep.org.za/wp-content/uploads/2020/07/SASTEP-RTT-Portfolio.pdf
- _ Water Research Commission (2020). *SASTEP - Local Sanitation Technology Portfolio*, Department of Science & Technology, Republic of South Africa.
Disponible en: www.sastep.org.za/wp-content/uploads/2020/07/SASTEP-Local-Technology-Portfolio.pdf
- _ Sindall, R.C., Cottingham, R.S., Sutherland, C., Mercer, S., Pocock, J., Arumugam-Nanooolal, P., Dhlamini, S., Magwaza, F., Shoji, M., Odili, A & Reddy, M. (2020). *Field-testing and Demonstration of Sanitation Technologies: Guidelines for the South African Sanitation Technology Enterprise Programme (SASTEP)*.
Disponible en: <https://gatesopenresearch.org/documents/5-67>
- _ Etter, B., Udert, K.M., Gounden, T., (2015). *Valorisation of Urine Nutrients. Promoting Sanitation & Nutrient Recovery through Urine Separation*. VUNA Final Report. Eawag, Dübendorf, Switzerland
Disponible en: www.eawag.ch/en/departement/eng/projects/vuna/
- _ Still, D., Bhagwan, J., Harris, J., (2014). *Pour Flush Sanitation. The Future or a 'Flash' in the Pan?*, Presentation at the WISA Biennial Conference, Nelspruit, South Africa
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/2-2033-2-pourflushatwisanelspruit20142.pdf
- _ Bhagwan, J., (2014). *The WRC Pour Flush Toilet. Lessons from Western Cape Trials*, Water Information Network South Africa, Lessons Series 2014, Water Research Commission, Pretoria, South Africa
Disponible en: www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/Pour%20Flush%20Western%20Cape-lesson.pdf

Tecnologías de saneamiento emergentes: Zyclone Cube

- _ Koottatep, K., Chapagain, S.K., Polprasert, C., Panuvatvanich, A., Ahn, K-H. (2016). *Sanitation situations in selected Southeast Asian countries and application of innovative technologies*. Springer, Dordrecht, NL
Disponible en doi: 10.1007/s10668-016-9892-6 and www.fsmttoolbox.com/assets/pdf/75.pdf
- _ Information and factsheets on “Reinvented Toilet Technologies in Development” on the website American National Standard Institute’s website dedicated to “ISO Non-Sewered Sanitation Standards” (e.g. Clear Recirculating Toilet, Zyclone Cube)
Disponible en: <https://sanitation.ansi.org/RTTech>

Part 3 Temas transversales para la planificación y la toma de decisiones

- _ CWWA (2019). *Regional Strategic Action Plan (RSAP) for Governance and Building Climate Resilience in the Water Sector in the Caribbean*. Caribbean Water and Wastewater Association. Trinidad and Tobago.
Disponible en: <https://cwwa.net/publication/regional-strategic-action-plan-for-governance-and-building-climate-resilience-in-the-water-sector-in-the-caribbean/>
- _ CWWA (2019). Declaration of Basseterre, 15th High-Level Forum For Caribbean Ministers Responsible for Water, Basseterre, Saint Kitts And Nevis, October 14-15 2019
Disponible en: https://es.unesco.org/sites/default/files/final_signed_ministerial_declaration_-_st._kitts_and_nevis.pdf
- _ CWWA (2019). *Regional Strategic Action Plan for the Water Sector in the Caribbean to Develop Resilience to the Impacts of Climate Change. First Implementation Plan. Regional Level Responses*. Caribbean Water and Wastewater Association. Trinidad and Tobago. Disponible en: <https://cwwa.net/publication/regional-strategic-action-plan-for-the-water-sector-in-the-caribbean-to-develop-resilience-to-the-impacts-of-climate-change-first-implementation-plan-2019/>.
- _ CWWA (2021). *Regional Strategic Action Plan for the Water Sector in the Caribbean to Develop Resilience to the Impacts of Climate Change. Second Implementation Plan. Regional Level Responses, IP-2021 (Version 2, August 2021)*. Caribbean Water and Wastewater Association. Trinidad and Tobago.
- _ CWWA (2018). *Climate Change and the Water Sector in the Caribbean*, Video for the 8th World Water Forum, Brazil, with support from IDB, CDB, UNEP, and PAHO
Disponible en: https://youtu.be/Tp9Yd9_p3Gg (15min, last accessed February 2022)
- _ Fletcher, J. (2018). *Caribbean/Executive Summary*. Regional Process of The Americas, Sub-regional Report. World Water Forum 2018. Brazil. Brasilia. CWWA, IDB, CDB
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0001029>
- _ K&M Advisors (2019). *Governance Position Paper on the Caribbean Water and Sanitation Sector, Final Report and Action Plan*. Inter-American Development Bank.
Disponible en: <https://clmeplus.org/doculibrary/governance-position-paper-on-the-caribbean-water-and-sanitation-sector/>

X A

Participación de las partes interesadas

- _ Contributions of the World Water Forum 2015 to the United Nations High-Level Political Forum (HLPF) on Sustainable Development (2016). Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=30022&nr=88&menu=3170>
- _ Grupo Sarar (2012). *SARAR a methodology*. <https://youtu.be/6KZmzA6uF-M>
- _ Sawyer, R., Wood, S., Simpson-Hebert, M. (1998). *PHAST Step-by-step Guide: A participatory approach for the control of diarrheal disease* – Participatory Hygiene and Sanitation Transformation Series, World Health Organization WHO/Geneva (WHO/EOS/98.3). Disponible en: www.who.int/water_sanitation_health/publications/phastep/en
- _ SIWI (2021). *Indigenous Peoples and Water*. Official Website Topic. Stockholm International Water Institute. Stockholm. Sweden. Disponible en: <https://siwi.org/why-water/indigenous-knowledge/> (last accessed February 2022)

- _ Srinivasan, L. (1990). *Tools for Community Participation: A manual for training trainers in participatory techniques*. Disponible en: www.ircwash.org/sites/default/files/205.1-90TO-7275-1.pdf
- _ UNESCO (2006). *Water and Indigenous Peoples*. Edited by R. Boelens, M. Chiba and D. Nakashima. Knowledges of Nature 2, UNESCO: Paris, 177 pp. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000145353>
- _ UN Human Rights Council (2021). A/HRC/RES/48/13: *The human right to a clean, healthy and sustainable environment*. Disponible en: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G21/289/50/PDF/G2128950.pdf>

X B

Sensibilidad de género

- _ Gensch, R., Jennings, A., Renggli, S., Reymond, P. (2018). *Compendium of Sanitation Technologies in Emergencies*. German WASH Network, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Global WASH Cluster and Sustainable Sanitation Alliance. Berlin. Germany. Disponible en: www.emersan-compendium.org/en/
- _ Kohler, P. (2016). *The need for gender sensitive planning in sanitation*. In: Gutterer, B., Reuter, S. (Eds.) *Key Elements for a New Urban Agenda – Integrated Management of Urban Waters and Sanitation* (2015 Conference Report), Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen, Germany
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2611
- _ Masgon, M.A, Gensch, R. (2010). *Factsheet Water, Sanitation and Gender*. Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. Disponible en: <https://sswm.info/arctic-wash/module-1-introduction/further-resources-sustainability-relation-water-sanitation>

X C

Resiliencia climática

- _ IPCC (2022). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, University Press. Disponible en: https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf

X C.1 El discurso internacional sobre cambio climático y resiliencia en el sector de saneamiento

- _ Mikhael, G., Hyde-Smith, L., Twyman, B., Trancón, D.S., Jabagi, E., Bamford, E. (2021). *Climate Resilient Urban Sanitation – Accelerating the Convergence of Sanitation and Climate Action*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Eschborn. Germany. Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/4343
- _ Gensch, R., Jennings, A., Renggli, S., Reymond, P. (2018). *Compendium of Sanitation Technologies in Emergencies*. German WASH Network, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Global WASH Cluster, Sustainable Sanitation Alliance. Berlin. Germany. Disponible en: www.emersan-compendium.org/en/
- _ Arup. (2019). *The City Water Resilience Approach*. Leeds: Arup, The Rockefeller Foundation, The Resilient Shift, SIWI. Disponible en: www.arup.com/perspectives/publications/research/section/the-city-water-resilience-approach
- _ United Nations General Assembly A/RES/71/256* (2016). *Nueva Agenda Urbana*. Disponible en: <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- _ Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). (2020). *La Nueva Agenda Urbana Ilustrada*. ONU-Hábitat. Nairobi. Kenya. Disponible en: <https://unhabitat.org/es/the-new-urban-agenda-illustrated>

X C.2 Co-beneficios para una mejor resiliencia con soluciones basadas en la naturaleza

- _ Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.). (2016). *Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Gland, Switzerland. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/node/46191>
- _ Cross, K., Tondera, K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., Karres, N., McDonald, R. (Eds.) (2021). *Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment – A Series of Factsheets and Case Studies*. (344p), IWA Publishing. London. UK. Disponible en doi: 10.2166/9781789062267

- _ Cayetano, E. (2020). *The Caribbean has a plan for securing water resources in the face of climate change*. Copyright © Inter-American Development Bank (“IDB”). Licensed under (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND).
Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/en/the-caribbean-has-a-plan-for-securing-water-resources-in-the-face-of-climate-change/> (last accessed February 2022)

X 1.1 Ambiente institucional y regulatorio

- _ Bos, R., Alves, D., Latorre, C., Macleod, N., Payen, G., Roaf, V., Rouse, M. (2016). *Manual in the Human Rights to Safe Drinking Water and Sanitation for Practitioners*. IWA Publishing. London. UK.
Disponible en: www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/Bos_0.pdf
- _ Reuter, S (2019), based on Moss, J. (AquaFed, 2015), Links in the Sanitation Services Chain. 5th International Faecal Sludge Management Conference. Cape Town. South Africa. Disponible en: https://fsm5.susana.org/images/FSM_Conference_Materials/Wednesday/Afternoon_Plenary/1_180813_BORDA_WaterServiceChain.pdf

X 1.2 Trabajar con normas y directrices existentes

X 1.2.1 Protocolo relativo a la contaminación proveniente de fuentes y actividades terrestres del Convenio de Cartagena (Protocolo FTCM)

- _ United Nations Environment Programme (1999). *Protocol Concerning Pollution from Land-based Sources and Activities to the Convention for the Protection and Development of the Marine Environment of the Wider Caribbean Region*.
Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34544/LBS_Protocol-es.pdf
- _ United Nations Environment Programme (2019). *State Of the Cartagena Convention Area (SOCAR): An Assessment of Marine Pollution from Land-Based Sources and Activities in the Wider Caribbean Region*.
Disponible en: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/36346>.
- _ Talaue McManus, L., Heileman S., Corbin, C., Banjoo, D. (2021). *Regional Nutrient Pollution Reduction Strategy and Action Plan for the Wider Caribbean Region*. UNEP/Caribbean Environmental Programme.
Disponible en: <http://gefcrew.org/carrcu/19IGM/LBSCOP5/Info-Docs/WG.41INF.10Rev.1-en.pdf>
- _ Sealy, H. (2021). *Technical Paper on Proposed Criteria for Nutrients Discharges for Domestic Wastewater Effluent*, CERMES/ University of the West Indies, Faculty of Science and Technology, Barbados
Disponible en: <http://gefcrew.org/carrcu/LBSSTAC5/Info-Docs/WG.41-INF.23-en.pdf>

X 1.2.2 Normas ISO para sistemas y tecnologías de saneamiento de este compendio

- _ Velkushanova, K., Jingxi, Z. (2020). *Workshop Training*. SANS/ISO:30500 Supporting Material: Booklet for participants. Pollution Research Group. University KwaZulu-Natal. eThekweni. South Africa.
Disponible en: <https://sanitation.ansi.org/pdfs/ISO-30500-Participant-training-booklet-WRC.pdf>

The following standards are available along with additional information and updates on the ANSI website: <https://sanitation.ansi.org>

- _ ISO (2007). ISO 24510. *Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users*. Switzerland: ISO.
- _ ISO (2007). ISO 24511. *Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of wastewater services*. Switzerland: ISO.
- _ ISO (2016). ISO 24521. *Guidelines for the management of basic on-site domestic wastewater services*. Switzerland: ISO.
- _ ISO (2018). ISO 30500. *Non-sewered sanitation systems – Prefabricated integrated treatment units– General safety and performance requirements for design and testing*. Switzerland: ISO.
- _ ISO (2020). ISO 31800. *Faecal sludge treatment units – Energy independent, prefabricated, community-scale, resource recovery units – Safety and performance requirements*. Switzerland: ISO.

X 1.2.3 Directrices y proceso de certificación para la producción sostenible de biochar y sumideros de carbono con base en biochar

- EBC (2012-2022). *European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*. Version 10.1 from 10th Jan 2022. European Biochar Foundation (EBC). Arbaz, Switzerland. Disponible en: <http://european-biochar.org>
- EBC (2020). *Certification of the carbon sink potential of biochar*. Version 2.1E of 1st February 2021. Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. Disponible en: <http://european-biochar.org>

X 2

Gestión de recursos hídricos resiliente al clima

X 2.1 Evaluación integrada de saneamiento y aguas subterráneas

- Wolf, L., Vilholth, K., Peal, A. (2022). *Integrated management of sanitation systems and protection of groundwater – critical to achieve the SDGs*, SuSanA-WG11 Thematic Paper. Disponible en: www.susana.org
- Clemens, M., Khurelbaatar, G., Merz, R., Siebert, C., van Afferden, M. and Ridiger, T. (2020). *Groundwater protection under water scarcity; from regional risk assessment to local wastewater treatment solutions in Jordan*. Science of The Total Environment 706, 136066. Disponible en doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136066
- Daus, A. (2019). *Aquifer Storage and Recovery: Improving Water Supply Security in the Caribbean Opportunities and Challenges*, Discussion Paper N IDB-DP-00712. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en>
- Post, V.E.A., M. Eichholz, R. Brentführer (2018). *Groundwater management in coastal zones*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover, Germany, 107 pp. Disponible en: www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Aktuelles/Archiv/2018-09_gw-management-coastal-zones_en.html
- Gensch, R., Jennings, A., Renggli, S., Raymond, P. (2018). *Compendium of Sanitation Technologies in Emergencies*. German WASH Network Eawag, Global WASH Cluster and Sustainable Sanitation Alliance. Berlin, Germany. Disponible en: www.emersan-compendium.org/en/
- Wolf, L., Nick, A., Cronin, A. (2015). *How to keep your groundwater drinkable: Safer siting of sanitation systems*, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). Disponible en: www.susana.org
- Guppy, L., Uyttendaele, P., Villholth, K. G., Smakhtin, V. (2018). *Groundwater and Sustainable Development Goals: Analysis Of Interlinkages*. UNU-INWEH Report Series, Issue 04. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada. Disponible en: <http://inweh.unu.edu/publications/>
- Jakeman, A. et al. (Ed.), (2016). *Integrated Groundwater Management – Concepts, Approaches and Challenges*, Springer Nature. Switzerland. Disponible en doi: 10.1007/978-3-319-23576-9_16

X 2.2 Recarga de acuíferos administrados y almacenamiento y recuperación de acuíferos

- Coerver, A., Ewers, L., Fewster, E., Galbraith, D., Gensch, R., Matta, J., Peter, M. (2021). *Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies*. German WASH Network, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Global WASH Cluster and Sustainable Sanitation Alliance. Berlin. Germany. Disponible en: www.washnet.de/en/publications/emerwater-compendium-2/
- EPA (2021). *Aquifer Recharge and Aquifer Storage and Recovery*. Official Website. Environmental Topics. United States Environmental Protection Agency. US. Disponible en: www.epa.gov/uic/aquifer-recharge-and-aquifer-storage-and-recovery (last accessed February 2022)
- GWP Consulting (2010). *Managed Aquifer Recharge (Mar): Practical Techniques for The Caribbean*, Caribbean Environmental Health Institute (CEHI), the Antigua Public Utilities Authority (APUA), the United Nations Environment Programme (UNEP), and GWP Consultants. Disponible en: <http://www.caribbeanrainwaterharvestingtoolbox.com>

X 2.3 Captación de agua de lluvia

- Coerver, A., Ewers, L., Fewster, E., Galbraith, D., Gensch, R., Matta, J., Peter, M. (2021). *Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies*. German WASH Network, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Global WASH Cluster and Sustainable Sanitation Alliance. Berlin. Germany.
Disponible en: www.washnet.de/en/publications/emewater-compedium-2/
- Global Water Partnership-Caribbean (GWP-C), including outputs produced under the “Regional Programme for the Promotion of Rainwater Harvesting in the Caribbean” undertaken by UNEP and the Caribbean Environmental Health Institute (CEHI)

X 3

Apoyo a la toma de decisiones informadas por el clima

- Johnstone, D. W. M., Horan, N. J. (1996). *Institutional Developments, Standards and River Quality: A UK History and some Lessons for Industrialising Countries*, Water Science & Technology Vol. 33, No. 3, pp. 211-222, London, UK.
Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.1996.0072>
- Northover, H. (2016). *How did the East Asian Tigers deliver sanitation within a generation?* In: Gutterer, B., Reuter, S. (Eds.) Key Elements for a New Urban Agenda – Integrated Management of Urban Waters and Sanitation (2015 Conference Report), Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen, Germany
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2611
- Northover, H., Ryu, S. K., Brewer, T. (2016). *Achieving total sanitation and hygiene coverage within a generation – lessons from East Asia*, WaterAid, London. UK.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2453
- ONU Hábitat y OMS, (2021). Progreso en el tratamiento de las aguas residuales – Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra.
Disponible en: www.unwater.org/app/uploads/2021/09/SDG6_Indicator_Report_631_Progress-on-Wastewater-

X 4

Provisión de servicios de agua y saneamiento resiliente al clima

X 4.1 Principios de planificación de sistemas de saneamiento

- Janson N., Burkhard, L.S., Jones, S. Eds. Cayetano, E.S., Cathala, C. (2021). *Caribbean Water Study*. Inter-American Development Bank (IDB Technical Note; 2320)
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18235/0003755>
- Gambrill et al. (2020). *Citywide Inclusive Sanitation—Business as Unusual: Shifting the Paradigm by Shifting Minds*. Front. Environ. Sci. Disponible en doi: 10.3389/fenvs.2019.00201
- Kennedy-Walker, Ruth, Nishtha Mehta, Seema Thomas, and Martin Gambrill. (2020). *Connecting the Unconnected: Approaches for Getting Households to Connect to Sewerage Networks*. World Bank, Washington, DC.
Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/34791>
- Observatory for Latin America and the Caribbean on Water and Sanitation (OLAS).
Disponible en: www.olasdata.org/en/
- Sparkman D. (2016). *Why business as usual will not achieve SDG6 in LAC: the promise of wastewater reuse, green infrastructure and small business around WASH: conclusions from World Water Week 2016*
Disponible en: <https://publications.iadb.org>
- Sustainable Sanitation Alliance (2017). SuSanA Vision Document
Disponible en: www.susana.org
- Odindo, A.O., Bame, I.B., Musazura, W., Hughes, J.C., and Buckley, C.A. (2016). *Integrating Agriculture in Designing On-Site, Low Cost Sanitation Technologies In Social Housing Schemes*. WRC Report No. TT 700/16, Tshwane, South Africa.
Disponible en: www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20700-18.pdf

X 4.2 Principios de costeo de los sistemas de saneamiento

- Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C. (2020). *Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: from Waste Disposal to Resource Recovery*. 2nd edition. Nairobi and Stockholm: United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute.
Disponible en: www.sei.org/publications/sanitation-wastewater-management-and-sustainability/
- Kenton, W. and Kindness, D. (2020). *Equivalent Annual Cost – EAC Definition*. Investopedia Online Article. Dotdash Meredith Publishing. Disponible en: www.investopedia.com/terms/e/eac.asp (last accessed February 2022)
- GWSP (Beta, 2018). *CWIS Costing and Planning Tool*. Global Water Security & Sanitation Partnership (GWSP). The World Bank.
Disponible en: www.cwiscostingtool.com
- Heredia, G., Saavedra, O., Rojas, I. (2020). *Evaluation of the annual equivalent cost (AEC) of wastewater treatment plants in the municipalities of Cliza and Tolata*. Revista Investigación & Desarrollo, Vol. 19 No.2 (2019).
Disponible en doi: 10.23881/idupbo.019.2-5e (en español)

X 4.3 Otras áreas claves del saneamiento ambiental

- Narayan, A.S., Marks, S.J., Meierhofer, R., Strande, L., Tilley, E., Zurbrügg, C., Lüthi, C. (2021). *Advancements in and Integration of Water, Sanitation, and Solid Waste for Low- and Middle-Income Countries*. Annu. Rev. Environ. Resour.2021.46:193:219. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030620-042304>
- Valcourt, N., Javernick-Will, A., Walters, J., Linden, K. (2020). *System approaches to water, sanitation, and hygiene: a systematic literature review*. Int. J. Environ. Res. Public Health 17(3):1702.
Disponible en doi: 10.3390/ijerph17030702
- Scott, R., Scott, P., Hawkins, P., Blackett, I., Cotton, A., Lerebours, A. (2019). *Integrating basic urban services for better sanitation outcomes*. Sustainability 11(23):6706. Disponible en doi: 10.3390/su11236706
- Morel, A., Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology (Eawag). Sandec Report: Vol. 14/06. Dübendorf, Switzerland.
Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/2-947-en-greywater-management-2006.pdf
- De Jong, D. (2003). *Advocacy for water, environmental sanitation and hygiene – thematic overview paper*. WASH Working Paper. IRC International Water and Sanitation Centre. Delft. Netherlands.
Disponible en: www.ircwash.org/sites/default/files/Jong-2003-Advocacy.pdf

X 4.4 Operación y gestión efectiva de activos

- ISO (2016). ISO 24521. *Guidelines for the management of basic on-site domestic wastewater services*. Switzerland: ISO.
Disponible en: <https://sanitation.ansi.org>
- Mikhael, G., Hyde-Smith, L., Twyman, B., Trancón, D. S., Jabagi, E., Bamford, E. (2021). *Climate Resilient Urban Sanitation – Accelerating the Convergence of Sanitation and Climate Action*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Eschborn. Germany.
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/4343
- SuSanA (2012). *Operation and maintenance of sustainable sanitation systems*. Factsheet of Working Group 10. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA).
Disponible en: www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/939

X 4.5 Financiamiento de saneamiento sensible al clima

- IDB (2021). *Water and Sanitation Sector Framework Document*. Inter-American Development Bank (IDB).
Disponible en: www.iadb.org/en/sector/water-and-sanitation/sector-framework

Parte 4 Caso 1 (Penonomé, Panama)

- _ Green Engineering Corp. *Information on the Treatment Technology*. Disponible en: <https://greengcorp.com/como-funciona/> (last accessed February 2022)
- _ Executive Decree No. 150 (June 16th, 2020). *Update of the National Regulation of Urbanizations and Parcelling throughout the Territory of the Republic of Panama* (p. 28). Republic of Panama. Disponible en: www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29048_B/GacetaNo_29048b_20200616.pdf
- _ WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), UN-Water. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris, UNESCO. Disponible en: www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/

Parte 4 Caso 2 (León, Nicaragua)

- _ Ulrich, A. (Ed.), Reuter, S. (Ed.), Gutterer, B. (Ed.), Sasse, L., Panzerbieter, T. and Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. A Practical Guide. WEDC, Loughborough University, Leicestershire, Disponible en: <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/details.html?id=10409>
- _ Webinar at the CREW+ Academy on 30.09.2021 (Block 2, Module 6) Slides available at: <https://academy.gefcrew.org/en/resources>, Video disponible en: <https://youtu.be/U-PYdb2GoEY> (min. 37:25 - 55:25)
- _ Video on the facebook site of the German Embassy in Nicaragua (2 minutes). www.facebook.com/AlemaniaEnNicaragua/videos/846879636161809/
- _ IANAS-UNESCO (2020). *Water Quality in the Americas. Risks and Opportunities*. The Inter-American Network of Academies of Sciences, Mexico (p. 473, Box1). Disponible en: <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf>

Parte 4 Caso 3 (Nindirí, Nicaragua)

- _ La Gaceta Diario Oficial, Decree 21-2017 of Wastewater Discharge (Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales). Disponible en: www.inaa.gob.ni/sites/default/files/inline-files/Decreto%2021-2017.pdf
- _ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON), Nicaraguan Technical Standard for Wastewater Treatment and Reuse (2005). Disponible en: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b34f77cd9d23625e06257265005d21fa/3b3583b8c7d4ee32062579bc007b7023?OpenDocument>

Parte 4 Caso 4 (Punta Cana, Dominican Republic)

- _ Daud MK, Rizvi H, Akram MF, Ali S, Rizwan M, Nafees M, Zhu SJ (2018). *Review of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Technology: Effect of Different Parameters and Developments for Domestic Wastewater Treatment*. Journal of Chemistry, vol. 2018, Article ID 1596319. 13 pages. Disponible en doi: 10.1155/2018/1596319
- _ Grupo PROAMSA, Wastewater Treatment Specialists, Official Website: <https://grupoproamsa.com/> (last accessed February 2022)

Parte 4 Caso 5 (Lago Atitlán, Guatemala)

- _ CBSA (2020). *Policy brief: supporting the shift to climate positive sanitation*. Disponible en: <https://cbsa.global/resources>
- _ Mijthab, M., Anisie, R. & Crespo, O. Mosan (2021). *Combining Circularity and Participatory Design to Address Sanitation in Low-Income Communities*. *Circ.Econ.Sust.* 1, 1165-1191 (2021). Disponible en doi: 10.1007/s43615-021-00118-w
- _ Russel, K., Montgomery, I. (2020). *Container-Based Sanitation Implementation Guide 1st Edition*. Container-Based Sanitation Alliance, UK, London. Disponible en: <https://cbsa.global/resources>
- _ Russel, K.C., Hughes, K., Roach, M., Auerbach, D., Foote, A., Kramer, S., Briceño, R., (2019). *Taking container-based sanitation to scale: opportunities and challenges*. *Front Environ Sci* 7. Disponible en doi: 10.3389/fenvs.2019.00190
- _ Schmidt, H.P., Pandit, B.H., Cornelissen, G., Kamman, C., (2017). *Biochar-Based Fertilization with Liquid Nutrient Enrichment: 21 Field Trials Covering 13 Crop Species in Nepal*. *Land Degradation & Development*, 28(8), 2324-2342. Disponible en doi: 10.1002/ldr.2761
- _ Sklar, R., Faustin, C., (2017). *Pit Latrines or Container Based Toilets? Haiti Priorise*. Copenhagen Consensus Center. Denmark. Disponible en: www.copenhagenconsensus.com

Parte 4 Caso 6 (Tolata, Bolivia)

- _ Aguatuya Foundation Official Website: <https://aguatuya.org/> (last accessed February 2022)
- _ Echeverria, I., Machicado, L., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., Montoya, R. (2019). *Domestic wastewater treated by anaerobic baffled reactors and gravel filters as a resource to be used in agriculture*. *INVESTIGACION & DESARROLLO*. 19. 63-72. Disponible en doi: 10.23881/idupbo.019.1-4i
- _ Barber, W.P., and Stuckey, D.C., (1998). *The Influence of Start-Up Strategies on the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor*. *Environmental Technology*, 19:5, 489-501. London.UK. Disponible en doi: 10.1080/09593331908616705
- _ Heredia, G., Becerra, A., Saavedra, O., Echeverria, I. (2020). *Evaluación del costo anual equivalente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los municipios de Cliza y Tolata*. *INVESTIGACION & DESARROLLO*. 19. 75-82. Disponible en doi: 10.23881/idupbo.019.2-5e.
- _ Kenton, W. and Kindness, D. (2020). *Equivalent Annual Cost – EAC Definition*. Investopedia Online Article. Dotdash Meredith Publishing. Disponible en: www.investopedia.com/terms/e/eac.asp (last accessed February 2022)
- _ Heredia, G., Gandarilla, V., Becerra, A., Valenzuela, L. (Ed.), (2020). *Tratamiento descentralizado de aguas residuales con enfoque de reúso en Cochabamba, Bolivia*, SuSanA Latinoamérica Disponible en: www.susana.org/_resources/documents/default/3-3983-7-1607703202.pdf

Crédito de las fotos

Reproducido con el permiso de los autores o bajo licencia creative commons como se indica:

Página 39: @ SuSanA_giz flickr bajo licencia CC-BY SA 4.0/Hoffmann, <https://flic.kr/p/7VSCXw>; Löw, <https://flic.kr/p/9X-zGm8>, © mosan, © Demant, ©Kraemer, © Horvath, licensed under CC BY-SA 2.0, <https://flic.kr/p/2hzH19H>; Página 49: © BORDA Las Américas, © Kraemer, © Demant, © SuSanA_giz flickr licensed under CC-BY SA 4.0, <https://flic.kr/p/8CTUT1>; Página 63: © Demant, © mosan, © BORDA Las Americas, © SuSanA_giz flickr licensed under CC-BY SA 4.0, <https://flic.kr/p/5vUaqB>; Página 75: © mosan, © BORDA Las Américas, © Zweckverband Linz-Unkel, © PROAMSA S.A.; Página 119: © BORDA Las Américas, © Rich Earth Institute, © mosan, © Kraemer, © Reuter; Página 148-150: © WeCo SAS; Página 152: ©Envirosan; Página 153: ©Enviro Options; Página 154: ©LiquidGold; Página 155: © SCG Chemicals; Página 202, 205: © Green Engineering Corp.; Página 206, 208, 211: © BORDA Las Américas; Página 212, 215: © BIOSAM S.A.; Página 216, 219: © PROAMSA S.A.; Página 220, 222, 223, 225: © mosan; Página 226, 231: © Aguatuya;

Pie de imprenta

Publicado por:

Bremen Overseas Research and Development Association e.V. (BORDA)
Asociación Bremense de de Investigación y Desarrollo de Ultramar e.V.
Am Deich 45,
28199 Bremen
Alemania

Eawag

Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo (Sandec)
Überlandstrasse 133
P.O. Box 611, 8600 Dübendorf
Suiza

Diseño gráfico y dibujos técnicos:

Pia Thür, Paolo Monaco, Mona Trockel, Jette Noa, Annika C. Nordin

Edición del texto en español:

David Wilk Graber, Julián Esteban Bedoya Jiménez

Citar como:

Reuter, S., Demant, D., Heredia, G., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Ulrich, L., Zurbrügg, C. (2022).
Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento para la Región del Gran Caribe.
Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA). Bremen, Alemania.

Stefan Reuter: *aqua & waste GmbH, Hannover, Alemania*

Dierk Demant: *OSE Corporation V.B.A, Aruba*

Gustavo Heredia: *Consultant, Cochabamba, Bolivia*

Lukas Ulrich: *VUNA GmbH, Dübendorf, Suiza*

todos los demás autores: eawag, Dübendorf, Suiza

Abril 2022

Descargo de responsabilidad:

Esta publicación contiene enlaces a sitios web externos. La responsabilidad del contenido de los sitios externos mencionados corresponde siempre a sus respectivos editores. Cuando se publicaron por primera vez los enlaces a estos sitios, BORDA & Eawag comprobó el contenido de terceros para determinar si podía dar lugar a responsabilidades civiles o penales. Sin embargo, no es razonable esperar una revisión constante de los enlaces a sitios externos sin que haya indicios concretos de violación de derechos. En caso de que BORDA & Eawag tenga conocimiento o sea notificado por un tercero de que un sitio externo al que ha proporcionado un enlace da lugar a una responsabilidad civil o penal, eliminará inmediatamente el enlace



Esta publicación tiene una licencia de Creative Commons:
Atribución - NoComercial - NoDerivadas 4.0 Internacional



BORDA Las Americas
Dr. Atl 274
Colonia Santa María La Ribera
Delegación Cuauhtémoc
CDMX CP-06400,
México
Teléfono +52 1 5541 8158
mex@borda-la.org
www.borda-la.org
www.borda.org

Eawag
Departamento Sandec
Überlandstrasse 133
P.O. Box 611
8600 Dübendorf
Suiza
Teléfono +41 (0)44 823 52 86
info@sandec.ch
www.eawag.ch
www.sandec.ch



¡ Este es el primer compendio para la Región del Gran Caribe !

Basado en gran medida en el Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento de la Eawag, se adaptó a las necesidades de la región mediante la investigación previa, la participación activa de las partes interesadas regionales y la contextualización de los aspectos técnicos y sociales.

El compendio es un documento de orientación para los ingenieros y planificadores de la Región del Gran Caribe y de otras regiones. Al ordenar y estructurar las tecnologías probadas en un documento conciso, se proporciona al lector una herramienta de planificación útil para tomar decisiones más informadas. Este compendio se centra en la gama de tecnologías urbanas y periurbanas que pueden ser proporcionadas y gestionadas como un servicio público.

- Parte 1** describe diferentes configuraciones del sistema para una variedad de contextos.
- Parte 2** consta de 48 fichas tecnológicas diferentes, en las que se describen las principales ventajas, desventajas, aplicaciones e idoneidad de las tecnologías necesarias para construir un sistema de saneamiento integral.
- Parte 3** abarca temas transversales para la planificación y la toma de decisiones pertinentes para la aplicación del Plan de Acción Estratégico Regional (Regional Strategic Action Plan) en el sector de saneamiento para la Región del Gran Caribe.
- Parte 4** presenta estudios de caso seleccionados que muestran sistemas y tecnologías en condiciones reales, incluyendo aspectos institucionales, normativos y financieros, así como las lecciones aprendidas.