

Sesión I

Estudios de caso urbanos

Coordinadores

Darren Saywell (WSSCC, Suiza)

Uwe Stoll (KfW, Alemania)

Ron Sawyer (Saras Transformación SC, México)

Heinz-Peter Mang (GTZ, Alemania)

Ponencias

Experiencias operativas con un proyecto de separación *in situ**

Claudia Wendland (Universidad Técnica Hamburgo-Harburgo, Alemania), *Martin Oldenburg*

Participación institucional para la recolección de orina: un experimento nigeriano

M.K.C. Sridhar, O. Odusan (Universidad de Ibadan, Nigeria), *A. O. Coker, I.O. Akinjogbin, G.O. Adeoye*

Mayor desarrollo de sistemas de eliminación de aguas residuales en zonas conurbanas

Ulf Volker Rakelmann (Hamburger Stadtentwässerung, Alemania)

Implementación de un modelo de saneamiento de ciclo cerrado en el municipio de Yang Song, China

Ina Jurga, Bianca Gallinat, Heinz-Peter Mang (GTZ, Alemania)

Implementación de saneamiento seco urbano a gran escala: una agenda para la acción*

Ana Córdova, Barbara A. Knuth (Universidad de Cornell, EUA)

Un modelo innovador de saneamiento marca el camino hacia el desarrollo urbano sustentable.

Experiencias del proyecto modelo “Wohnen & Arbeiten” en Freiburg, Alemania

Arne Panesar, Jörg Lange (Wohnen & Arbeiten, Alemania)

Saneamiento ecológico seco o con agua en zonas periurbanas

Bjorn Brandberg (SBI Consulting & Supplies (PTY) Ltd, Suiza)

Subterra – humedales de tratamiento para aguas residuales (ejemplos y experiencias)

Joachim Krüger (Pflanzenkläranlagen GmbH, Alemania)

Tratamiento de aguas grises combinando bio-filtros y humedales de tratamiento en clima frío

Petter D. Jenssen, Lasse Vråle (Universidad Agrícola de Noruega, Noruega)

Programa de saneamiento comunitario en Tangerang y Surabaya, Indonesia

Stefan Reuter, Andreas Ulrich (Bremen Overseas Research and Development Association, BORDA, Alemania)

Introducción a la separación de orina en Suiza: Novaquatis, un proyecto de investigación interdisciplinaria*

Judit Lienert, Tove A. Larsen (EAWAG, Suiza)

*Este documento fue revisado por el comité científico del simposio

Experiencias operativas con un proyecto de separación de flujos*

Claudia Wendland

Universidad Técnica de Hamburgo-Harburgo
Instituto para el manejo de aguas residuales
Eissendorfer Str.42, 21073 Hamburgo, Alemania
e-mail: c.wendland@tuhh.de

Martin Oldenburg

Otter Wasser GmbH
Engelsgrube 81, 23552 Lübeck, Alemania
e-mail: oldenburg@otterwasser.de

Palabras clave

Digestión anaeróbica, biogás, aguas negras, separación de flujos, sanitario de vacío, consumo de agua

Resumen

En Lübeck-Flintenbreite, se lleva a cabo un sistema de separación en un conjunto habitacional en Alemania. El proyecto demuestra la factibilidad del sistema de control de flujos combinado con tecnologías de ahorro de agua así como producción de energía y fertilizante.

El consumo de agua disminuye significativamente debido a la instalación de sanitarios de vacío. La separación de flujos funciona efectivamente gracias a un estricto sistema de separación de aguas negras, grises y de lluvia: el bajo volumen de las aguas negras contiene la principal carga de nutrientes que pueden ser reciclados eficientemente. Un sistema anaeróbico junto con residuos orgánicos genera biogás que es utilizado como energía y para producir calor. El tratamiento de aguas pluviales y grises es muy fácil debido a la poca carga de nutrientes y se lleva a cabo en cenagales y en humedales de tratamiento respectivamente.

A pesar de la tecnología de punta, los costos operativos pueden ser mucho más bajos que los de un sistema convencional.

Descripción del proyecto Lübeck-Flintenbreite

El sistema de saneamiento descrito está instalado en un conjunto habitacional para 350 habitantes llamado Lübeck-Flintenbreite y es un ejemplo para zonas urbanas densamente pobladas. Este sistema semi-centralizado es capaz de reutilizar recursos y recuperar energía en zonas más densamente pobladas de hasta 5000 personas. El conjunto habitacional no está conectado al sistema central de drenaje. Todos los componentes del modelo de saneamiento han sido probados en diferentes campos de aplicación desde hace varios años y por lo tanto están bien desarrollados (Otterpohl *et al* 1999).

El sistema de saneamiento consiste principalmente en los siguientes componentes (Figura 1):

- sanitarios de vacío con sistema de tuberías de vacío y digestión anaeróbica con co-tratamiento de residuos orgánicos en una planta semi-centralizada de producción de biogás, reciclaje del lodos digeridos anaeróbicamente para aplicación en agricultura y almacenaje durante periodos de crecimiento. Utilización de biogás en la producción combinada de

*Este documento fue revisado por el comité científico del simposio

energía y calor (calefacción para los hogares /digestor y producción de electricidad), además del gas natural.

- tratamiento descentralizado de aguas grises en humedales de flujo vertical (filtros de camas de juncos) con alimentación por intervalos.
- captación de agua de lluvia e infiltración en un sistema de cenagal.

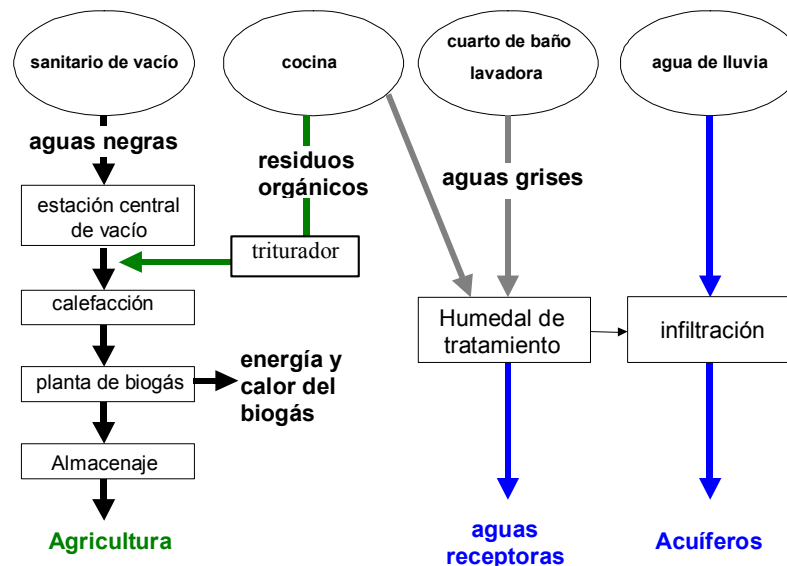


Figura 1: Esquema del sistema de saneamiento en Lübeck-Flintenbreite

En las 3.5 hectáreas de área hay hileras de casas dúplex y apartamentos. Las casas fueron diseñadas para bajo consumo de energía. La construcción del equipo técnico y de las casas comenzó en febrero 1999. Actualmente hay 28 casas terminadas con 95 habitantes. El equipo técnico central se ubica en un edificio comunitario central para calefacción y energía, el cual se percibe como el corazón del fraccionamiento. Primero, contiene las unidades para la producción de calefacción y electricidad, la estación de vacío, el digestor anaeróbico y todas las instalaciones de distribución. Segundo, los residentes pueden utilizar el centro de convenciones central para reuniones, fiestas y otros eventos.

Experiencias operativas con el sistema de sanitarios de vacío

El sistema de sanitarios de vacío ha funcionado por dos años sin ningún problema técnico. El sistema de descarga de agua ha sido optimizado durante su operación y necesita sólo 0.7 l por descarga.

Por lo tanto, el consumo de agua potable es significativamente más bajo comparado con el promedio en Alemania (Figura 2). El consumo promedio de agua potable en Lübeck-Flintenbreite es tan sólo 77 l/(p*d). En primavera y verano hay un consumo mayor debido a la irrigación de jardines.

El promedio de producción de aguas negras es aproximadamente 6l/(p*d). El promedio de aguas grises es cerca de diez veces más alto.

En relación con los nutrientes en estos dos flujos de agua, la separación de flujos es muy efectiva. Cerca de 90% de la carga de nitrógeno se encuentra en las aguas negras (Oldenburg *et al* 2002). La composición de las aguas negras indica una concentración alta de sustancias orgánicas en comparación con aguas residuales domésticas convencionales (Tabla 1).

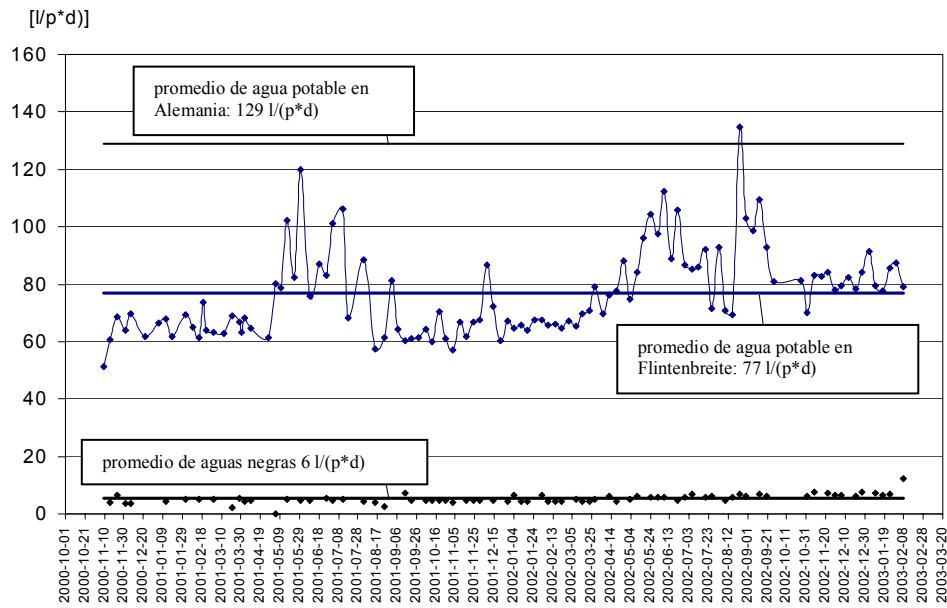


Figura 2: Consumo de agua potable en Alemania y en Lübeck-Flintenbreite y cantidad de aguas negras

Parámetro	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Sólidos Totales	g/l	7	12	23
Sólidos Volátiles	%	65	73	83
COT	mg/l	3340	5511	10650
N Total	mg/l	1050	1364	1910
P Total	mg/l		131*	

* Sólo una muestra

Tabla 1: caracterización de aguas negras

Para identificar la aceptación de los usuarios se aplicó un cuestionario a los residentes. La evaluación reveló que los sanitarios de vacío son tan aceptados como los sistemas convencionales. Algunos residentes incluso dijeron que son más higiénicos. El ruido puede ser un problema con los sanitarios de vacío, pero las modernas unidades instaladas en Flintenbreite producen un ruido diferente más breve pero no más fuerte que los sanitarios convencionales. En general el resultado del cuestionario enfatiza que los residentes están muy satisfechos con el sistema de sanitarios de vacío.

Estudios de laboratorio con digestión anaeróbica de aguas residuales

En Lübeck-Flintenbreite, la digestión anaeróbica de las aguas negras se vincula con el uso agrícola del producto digerido líquido. Para eliminar patógenos, las aguas negras, mezcladas con residuos de cocina triturados, son calentadas a 55°C por diez horas. Pero como actualmente sólo habita una cuarta parte de los residentes calculados, hasta ahora la planta no ha entrado en operación.

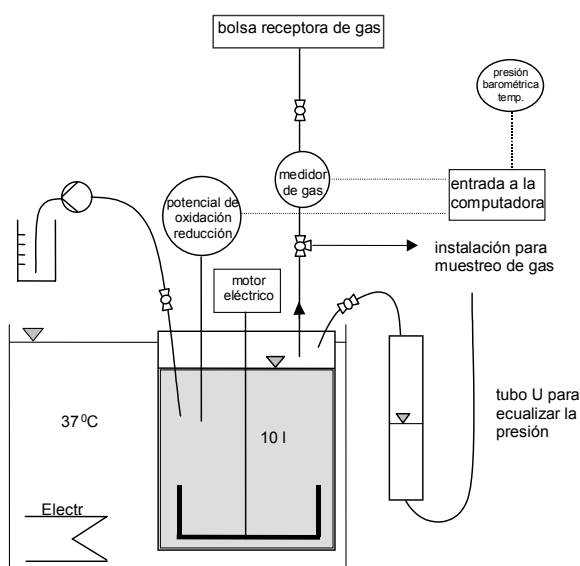


Figura 3: Esquema del modelo de laboratorio de la planta digestora de aguas negras y residuos orgánicos

En diciembre 2002 se iniciaron experimentos preliminares de laboratorio para determinar las condiciones óptimas del proceso de digestión anaeróbica en Lübeck-Flintenbreite

La planta piloto de laboratorio consiste en tres reactores paralelos (10 l cada uno) hechos de PVC y colocados en una tina con agua calentada para mantener una temperatura constante en los reactores. Tres veces por semana el reactor se alimenta con sustrato nuevo precalentado. Hasta ahora no se han agregado residuos de cocina. El tiempo de retención se estableció en 20 días. Semanalmente se toman muestras de la alimentación y del reactor que son analizadas de acuerdo a los parámetros de pH, ST, SV, COT, CT, NT y PT. Se registra la cantidad de producción de biogás en l-Norma en línea. El proceso se controla por el potencial de oxidación-reducción, el cual también es medido en línea. Se toman y analizan muestras de biogás regularmente.

Los primeros resultados indican que el proceso de digestión y la producción de biogás son muy estables. Sin embargo, la fase de inicio es muy sensible (Wolff 2000). La cantidad de biogás producido es cerca de 500 l-Norma/kg SV_{alim} , lo cual es comparable con las tasas de producción de residuos orgánicos (Gosch 1997) o la digestión de lodos (ATV 1996). Incluso con sólo aguas negras no ocurren inhibiciones en el proceso debido a la alta concentración de amoníaco. Se llevarán a cabo más estudios con diferentes tipos de residuos orgánicos. Se investigarán entonces diferentes combinaciones de aguas negras y residuos orgánicos, con diferentes tiempos de retención con el fin de optimizar la digestión.

Resultados

Los resultados de los primeros tres años de operación con separación de flujos muestran que:

- se logra un bajo consumo de agua debido a la instalación de tecnologías ahorradoras de agua.
- se lleva a cabo una muy efectiva separación de flujos. Cerca de 90% del nitrógeno se encuentra en las aguas negras.
- la tasa de problemas operativos/ dificultades causados por el mal uso del sistema es muy baja. Los problemas y sus causas pueden ser identificados fácilmente.

- la tecnología de sanitarios de vacío es aceptada por los habitantes. Después de un tiempo para acostumbrarse, los sanitarios son aceptados y se perciben como más higiénicos que los WC convencionales.
- los primeros resultados de la digestión anaeróbica de aguas negras en laboratorio confirman los parámetros de diseño como la producción de gas.

Referencias

- ATV (Abwassertechnische Vereinigung e.V.) 1996, ATV-Handbuch Klärschlamm, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 4. Auflage
- Gosch 1997, „Grundlagen der Vergärung von Bioabfällen“, Vortrag auf dem TAW-Seminar Vergärung von Bioabfällen: Neue Verfahrenstechniken, 25-26 de septiembre 1997 en Wuppertal
- Oldenburg, Martin; Niederste-Hollenberg, Jutta; Otterpohl, Ralf 2002, Erfahrungen aus Planung, Bau und Betrieb dezentraler und semizentraler Lösungen – Erfahrungen bei der Umsetzung und Betrieb der abwasserfreien Gebäude Flintenbreite, Vauban und Lambertsühle
- Otterpohl, Ralf; Albold, Andrea; Oldenburg, Martin 1999, Source control in Urban Sanitation and Waste Management: 10 Options with Resource Management for different social and geographical conditions (Control de flujos en el manejo de residuos y saneamiento urbano: 10 opciones con manejo de recursos para diferentes condiciones sociales y geográficas), Water, Science & Tech., No 3,4
- Wolff, Achim 2000, Untersuchungen zur Co-Vergärung von Schwarzwasser und Bioabfall, Tesis de titulación en la Universidad Técnica de Hamburgo-Harburgo

Participación institucional para la recolección de orina: un experimento nigeriano

**M. K. C. Sridhar,
O. Odusan**

División de Salud Ambiental
Facultad de Salud Pública, Universidad de Ibadan
Ibadan, Nigeria
e-mail: mkcsridhar@yahoo.com

**A. O. Coker,
I. O. Akinjogbin**

Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Ibadan
Ibadan, Nigeria

G. O. Adeoye

Departamento de Agronomía
Universidad de Ibadan
Ibadan, Nigeria

Palabras clave

Recolección de orina, participación institucional, actores involucrados, fertilizante, hortalizas

Resumen

Se diseñó y desarrolló un sistema de recolección de orina en el Politécnico Federal de Ede, Nigeria. Los actores involucrados eran los estudiantes y el personal del instituto. Se construyeron dos mingitorios con materiales locales, uno para maestros y otro para maestras. Los mingitorios se conectaron a un tanque de almacenamiento, el cual se conectó con una granja experimental. Una vez diluida la orina a razón de 1:4 se utilizó para cultivar quimbombó, maíz, amaranto verde y tomate en un invernadero. También se comparó la composición nutricional de la orina con la de un fertilizante orgánico-mineral y un fertilizante químico de NPK, los cuales son de uso generalizado entre los agricultores de la zona. Durante doce semanas se monitorearon el peso, número de hojas y grosor de los tallos de los cultivos de prueba. Los resultados indicaron que la orina puede ser una buena fuente de abono así como de agua para irrigación. Con base en estos resultados se construyeron parcelas y se plantaron los mismos cultivos. Se evaluó la aceptación de la práctica de recolección de orina, así como de los cultivos para consumo entre voluntarios dentro de la escuela. Los resultados mostraron que el sistema de recolección de orina es aceptado y viable a nivel institucional si los actores involucrados participan.

Introducción

En Nigeria es generalizada la práctica de orinar indiscriminadamente, ya sea en un estacionamiento, un mercado o una institución. A falta de instalaciones adecuadas, como mingitorios públicos, la gente no tiene otra opción que utilizar cualquier lugar conveniente como una alcantarilla, arbusto, basurero o arroyo en donde haya cierta privacidad. En Nigeria, con una población de 120 millones de habitantes, la orina constituye un valioso recurso desperdiciado. La recolección de orina está cobrando fuerza a nivel global debido a su valor como fertilizante y a su potencial problemática cuando se desecha indiscriminadamente. Sin embargo, todavía debe identificarse su calidad higiénica, problemas de olor, cultura y actitudes de los usuarios finales (EPA Dinamarca, 2001).

No ha habido conocimiento de ningún informe sobre la recolección directa de orina en este vasto país con 120 millones de habitantes excepto que la gente utiliza aguas negras o grises (que generalmente están mezcladas con heces y orina) para la agricultura en los principales centros urbanos (Sridhar, 1995; Sridhar, 2000). Sólo se sabe de un caso en Kaduna, en el norte de Nigeria, un fabricante de equipo utiliza rutinariamente la orina como fuente de amoníaco para limpiar el acero en el proceso térmico. Este documento describe nuestra experiencia en la movilización de varios actores involucrados para la recolección de orina en una institución terciaria, el Politécnico Federal en Ede, en el sureste de Nigeria y su subsiguiente utilización en prácticas agrícolas dentro del plantel. Los objetivos específicos incluyen la movilización de los actores involucrados, diseño y construcción de mingitorios aceptables tanto para hombres como para mujeres, un tanque de almacenamiento para orina, un tanque mezclador con drenaje para orina y agua y una zona de cultivo designada para cultivar una selección de plantas después de los experimentos de invernadero.

Ubicación del estudio y metodología

Ubicación del estudio

El Politécnico Federal se ubica en Ede, una pequeña ciudad en el estado de Osun. El Politécnico se estableció en 1992 y tiene 3000 empleados y 8000 estudiantes que en algunas épocas aumentan hasta 12000. La institución tiene 14 departamentos en 5 facultades: Ingeniería, Estudios Ambientales, Ciencias Aplicadas, Administración de Empresas y Estudios Generales. Algunos estudiantes viven en el plantel mientras que el personal y otros estudiantes viven fuera del plantel. Hay un servicio de comedor para los estudiantes. La escuela tiene una gran parcela no utilizada que actualmente se asigna al personal con fines agrícolas mientras la institución no la requiera. Los principales actores involucrados en la institución son: el rector, los decanos, el consejo académico (el órgano más importante para la toma de decisiones), jefes de departamento, personal docente y no docente, directivos y estudiantes.

Metodología

Los experimentos se realizaron en dos fases. La Fase I involucró la sensibilización de los actores involucrados, identificación del lugar, diseño del Sistema de Recolección de Orina (SRO), construcción del SRO, caracterización de la orina, experimentos de invernadero en cultivos de prueba con uso de orina, fertilizantes orgánico-minerales y fertilizantes químicos de NPK como fuentes de abono para el cultivo de quimbombó (*Hibiscus esculentus*), maíz (*Zea mays*), amaranto verde (*Amaranthus chlorostachys*), y tomate (*Lycopersicum sp.*) y la evaluación de la aceptación de los involucrados. En la Fase 2 se prepararon pequeñas parcelas cercanas al SRO y se plantaron cultivos de prueba para monitorear su crecimiento.

Sensibilización de los actores involucrados

La propuesta de iniciar un 'Sistema de Recolección de Orina' (SRO) se presentó para discusión al Consejo Académico por medio de una solicitud formal a cargo del decano de la Facultad de Estudios Ambientales. Después de un largo debate, el Consejo Académico aprobó la novedosa idea con cierto escepticismo. Además aprobaron un pequeño financiamiento inicial, así como una pequeña extensión de tierra para las parcelas del proyecto. Se inició un 'Club de Saneamiento' con participación estudiantil. La escuela también contrató dos obreros eventuales para complementar los esfuerzos de los estudiantes en las actividades diarias de mantenimiento como limpieza de los mingitorios e irrigación de las parcelas.

Sistema de Recolección de Orina

El SRO se diseñó y construyó con materiales locales disponibles y un sistema de drenaje apropiado, por gravedad. En la primera fase se construyeron dos mingitorios, uno para hombres y uno para mujeres. Cada unidad medía 90cm X 90cm acondicionada con una

regadera de 10cm de diámetro que servía como embudo. Se hizo una pendiente a 1:5 para facilitar el flujo de la orina. Se hicieron cubículos separados por hojas de madera de 6.2mm de espesor. Las unidades tenían un techo permanente en el corredor y eran accesibles para los usuarios. Los mingitorios se conectaron a un tanque de almacenamiento de PVC para 500 litros. Se instaló una tubería adecuada para la dilución y distribución en la granja (Fig. 1).



Figura 1: Mingitorios conectados a un tanque de almacenamiento fuera del edificio

Experimentos

Para los experimentos de invernadero se utilizaron bolsas negras de polietileno (con 2.5 Kg de tierra) en las cuales se colocaron cantidades adecuadas de tierra y abono. El valor nutriente de la orina se comparó con el de fertilizante orgánico-mineral normal obtenido de residuos sólidos municipales y con fertilizante de NPK. Los tratamientos incluyeron: orina 260 ml/bolsa (14,000 l/Ha); fertilizante orgánico-mineral elaborado en Ibadan 18 g/bolsa (2000 Kg/Ha con 5% N); fertilizante químico de NPK (15:15:15) 2.7 g/bolsa (300 Kg/Ha). Estas proporciones se basaron en las prácticas comunes en la región y varían según la naturaleza del cultivo en cuestión. Se llevó a cabo un segundo experimento utilizando cubetas de pintura, vacías y limpias, con 10 Kg de tierra antes de trasladar los cultivos a las pruebas en tierra directa. Los cultivos de prueba incluyeron quimbombó, un cultivo con frutos, maíz, una producción de grano sensible al sodio, amaranto verde, un cultivo frondoso, y tomate, un cultivo con frutos. Para las pruebas de campo se prepararon 12 parcelas de 1m X 1m utilizando un diseño de bloques aleatorios y los tratamientos fueron registrados adecuadamente. Se plantaron entre seis y siete semillas por parcela y cuando germinaron se redujeron a 2 por parcela.

Se analizaron muestras de tierra y orina para identificar características fisicoquímicas (pH, C, N, P, K, y parámetros de suelo) y parásitos comunes (huevos de sistosomas). Se dio seguimiento al efecto de la orina y los otros fertilizantes sobre el crecimiento de la planta, número de hojas y grosor del tallo durante 12 semanas. Se utilizaron controles adecuados sin ninguna corrección y se usó agua de la llave para mantener los niveles de humedad del suelo. Se siguieron métodos estándar para todos los análisis (APHA, 1999; AOAC, 1954).

Aplicación del cuestionario

Se diseñó un cuestionario para evaluar las creencias culturales y aceptación de la separación de orina y su uso para cultivos comestibles. 21 voluntarios se seleccionaron al azar en la escuela para esta evaluación.

Resultados y discusión

La composición de la orina (Tabla 1) presenta los valores normales encontrados en la literatura y el porcentaje de personas clínicamente anormales como ocurre en Nigeria. Aunque los componentes químicos no importan para la cosecha y el uso, la presencia de organismos patógenos, en particular huevos de *ascaris* y sistosomas, es un asunto de salud pública particularmente si se utiliza con fines agrícolas. La orina también puede contener otras bacterias patógenas (*Salmonella typhi* y *S. paratyphi*) y virus cuya eliminación varía dependiendo de condiciones ambientales. Sin embargo, si la orina es almacenada y utilizada adecuadamente, la carga de patógenos será reducida considerablemente (Esrey *et al*, 1998). También existen métodos para tratar la orina químicamente para prevenir cualquier infección en quienes trabajan en las granjas. De acuerdo con Drangert (1998), seis meses de almacenaje son suficientes para eliminar todos los patógenos.

Los experimentos de invernadero revelaron que la orina es comparable con el fertilizante orgánico-mineral y el químico NPK en forma evidente por la altura de las plantas y el número de hojas en un periodo de 12 semanas (Figuras 2 y 3). Se requieren más datos para identificar la proporción, el modo y la frecuencia de aplicación de la orina. Ya se inició la siembra de los cultivos para los experimentos en parcelas y se comienzan a recolectar los datos.

La población que participó en el estudio y sus características demográficas se presentan en la Tabla 2. Los respondientes son en su mayoría hombres de religión cristiana. La mayoría son casados y tienen nivel de educación terciaria (diploma o licenciatura). Muy pocos han completado estudios de postgrado. La actitud de los respondientes hacia la separación y uso de la orina se muestra en la Tabla 3. Es evidente que 76.2 por ciento utilizan el retrete para orinar, aunque 30% lo hacen en arbustos. Algunos usan ambos según les convenga. Todos los respondientes excepto uno habían visitado el SRO. Las observaciones en general fueron: (a) la orina es comparable con otros abonos y promueve un mejor crecimiento; (b) nadie se quejó de olores desagradables; (c) al rededor de 81% de los respondientes comen cultivos fertilizados con orina; (d) al rededor de 95% de los respondientes están dispuestos a trabajar con orina si fuera necesario; (e) la mayoría están preparados para utilizar un sanitario con desviación de orina si les fuera proporcionado; aunque (f) dos tercios temen que la orina pueda tener patógenos que afecten su salud.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio revelan que la orina es comparable con otros fertilizantes químicos y abonos orgánicos en su capacidad de mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Es un recurso valioso y es posible recolectarla a nivel institucional. La experiencia danesa, similar a la nuestra, indica también que la cultura de los usuarios influye en su uso con fines agrícolas (EPA danesa, 2001). Una adopción a gran escala será difícil mientras no sea aceptada a través de una continua educación ambiental y de salud por medio de módulos demostrativos. Utilizando un enfoque que tome en cuenta la participación de todos los actores involucrados junto con una eficiente desinfección de la orina es posible superar cualquier tabú en las comunidades.

Tablas

Característica	Orina normal (%) (Kolmer, 1944)	% Población que muestra una composición clínicamente anormal en el sureste de Nigeria
pH	(escala del pH) 6,0-7,5	0,00
Agua	95,00	--
Proteínas, grasas y otros coloides	0,00	--
Glucosa	0,00	--
Sodio	0,35	--
Cloruro	0,60	--
Urea	2,00	--
Ácido úrico	0,05	--
Potasio	0,15	--
Amoniaco	0,04	--
Calcio	0,015	(oxalato de Ca)34,00
Magnesio	0,006	--
Fosfato (PO ₄)	0,15	(cristales de PO ₄)42,00
Sulfato (SO ₄)	0,18	--
Creatinina	0,075	--
Eritrocitos y sus pigmentos	65.750,0	12,00
Células de pus	Pocas	66,00
Espermatozoides	Generalmente ausentes	16,00
Células de levadura	Generalmente ausentes	20,00
Tricomonas vaginales	Generalmente ausentes	20,00
huevos de <i>Sistosoma haematobium</i>	Generalmente ausentes	32,00

Tabla 1: Composición de la orina normal y porcentaje de nigerianos que presentan niveles anormales de los componentes.

Características	Número n=21	Porcentaje
Demográficas		
Edad	Entre 17 y 50+	
Género		
Masculino	12	57,10
Femenino	9	42,90
Estado civil		
Casado	13	61,90
Soltero	8	38,00
Afiliación religiosa		
Cristiano	14	66,70
Musulmán	7	33,30
Antecedentes educativos		
Diploma nacional	14	66,70
Estudios de pregrado (licenciatura)	2	9,50
Estudios de postgrado	3	14,30
Educación secundaria	2	9,50

Tabla 2: Características demográficas de los respondientes

Características	Número* n=21	Porcentaje
Hábitos para orinar		
Mingitorio	3	14,30
Retrete	16	76,20
Arbusto / donde sea	6	28,60
Visita al sitio de recolección de orina		
Visitado	20	95,20
No visitado	1	4,80
Sabe si la orina es buena para el crecimiento de las plantas		
Buena (mejor producción)	21	100,00
No tan buena (puede dañar los cultivos)	0	0,00
Mejor que otros (abonos, etc.)	21	100,00
Desea utilizar la orina		
Sí	20	95,20
No	1	4,80
Reacciones a la zona cercana al sitio de recolección de orina		
Hay mal olor	2	9,50
No hay mal olor	19	90,50
Temor a que los patógenos afecten su salud		
Sí	14	66,70
No	7	33,30
Disposición para consumir hortalizas cultivadas con orina		
Sí	17	80,90
No	4	19,10
Aceptación de sanitarios desviadores en caso de que se instalen		
Sí	20	95,20
No	1	4,80
Disposición para cultivar hortalizas con orina si tiene oportunidad		
Sí	20	95,20
No	1	4,80

Tabla 3: Actitud de los respondientes respecto a la recolección y utilización de orina *Se obtuvieron múltiples respuestas

Referencias

- AOAC (1954): Official Methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists (Métodos oficiales de análisis de la Asociación Oficial de Químicos Agrícolas), pp. 835
- APHA (1998): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales). 19 Edición, American Public Health Association, Washington, DC.
- Danish EPA (2001): Urine collection and use in Hyldespaeldet housing complex (Recolección y uso de orina en el complejo habitacional de Hyldespaeldet), Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning No. 10
- Drangert, J. (1998): Fighting the urine blindness to provide more sanitation options (Luchando en contra de la ceguera hacia la orina para ofrecer más opciones de saneamiento), *Water SA*, 24 (2), 157-164
- Esrey, S. A., Gough, J., Rapport, D., Sawyer, R., Simpson-Hebert, M., Vargas, J. and Winblad, U. (1998): Ecological Sanitation (Saneamiento ecológico). Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Estocolmo, pp. 1-92

- Kolmer, J. A. (1944): Clinical Diagnosis (Diagnóstico clínico), Segunda edición, Appleton-Century-Crofts, Inc., Nueva York, pp. 46, 59-63, 81-82
- Sridhar, M. K. C. (1995): Sullage / Waste Water in Nigeria: Problems and Scope for Utilization for Gardening (Lodos y aguas residuales en Nigeria: problemas y alcances de su utilización agrícola) – Una monografía publicada por UNICEF, Lagos, Nigeria, pp.1-63
- Sridhar, M. K. C. (2000): Urban farming and ecosanitation: Nigerian experience (Agricultura urbana y ecosaneamiento: la experiencia nigeriana)
- Ecosan - Closing the loop in wastewater management and sanitation (Cerrando el ciclo en el manejo de aguas residuales y el saneamiento), Memorias del simposio internacional, 30-31 octubre 2000, Bonn Alemania, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, pp. 109-112.

Mayor desarrollo de sistemas de eliminación de aguas residuales en zonas conurbanas

Ulf Volker Rakelmann¹

Servicio estatal de agua de Hamburgo (Hamburger
Stadtentwässerung HSE)
Banksstrasse 4, 20097 Hamburgo, Alemania
e-mail: ulf.rakelmann@hhse.de

Palabras Clave:

Tecnología de 'fin de tubería', conurbano, utilización, sustentabilidad, recuperación de recursos

Resumen

El manejo sustentable de recursos en el campo de las aguas residuales no es sólo un asunto rural, sino también es esencial para el entorno urbano. La tecnología para manejar aguas residuales en zonas conurbanas en países industrializados es una tecnología de 'fin de tubería' (*end-of-pipe*) establecida desde hace mucho tiempo. Para encontrar soluciones futuras no debemos enfocarnos en encontrar alternativas que reemplacen la tecnología existente, sino buscar un mayor desarrollo del sistema existente. Para una conurbación como Hamburgo, en Alemania, el mayor potencial de ahorro de recursos no se encuentra en el ahorro de agua. Esto no se ajusta a las condiciones limitantes del actual sistema de recolección de aguas residuales basado en el uso de agua como medio de transporte. En lugar de eso, un primer paso debiera ser la generación de flujos alternos en el origen de las aguas residuales para recuperar recursos presentes en la orina humana, como nitrógeno o fosfato. La pregunta es cómo utilizar estos recursos obtenidos. Su utilización como fertilizante puede ser difícil ya que no existe una zona agrícola proporcional a la posible cantidad de nutrientes recuperados en los barrios conurbanos. ¿Cuáles serían alternativas razonables de aplicación de recursos recuperados de aguas residuales en zonas conurbanas? Plantear esta interrogante y buscar respuestas es la contribución del servicio estatal de agua de Hamburgo (HSE *Hamburger Stadtentwässerung*) para un manejo de recursos sustentables en todo el mundo.

Prefacio

Hace 160 años Hamburgo comenzó a establecer un modelo sistemático de aguas residuales conforme a estándares modernos. Se puede considerar como uno de los sistemas más antiguos de drenaje en Europa. El conocimiento práctico acerca del manejo de aguas residuales es un valioso legado para el HSE. Además, de acuerdo con la filosofía de la compañía, esto nos obliga a mirar hacia el futuro. Este es un acto responsable de equilibrio entre la preservación y la innovación para más de 2 millones de personas en la región metropolitana de Hamburgo.

El eslogan "ecosan—cerrando el ciclo" para el simposio en Lübeck en el año 2003 no es algo nuevo. Hace ya 140 años fue discutido minuciosamente por los científicos agrícolas británicos Sir J.B. Lawes y Sir J.H. Gilbert. En esa época no existían fertilizantes químicos, pero sí había un profundo conocimiento sobre el contenido nutriente de la orina y heces. La recuperación de nutrientes en la excreta humana contra los mejoramientos en salud pública y la lenta adquisición del confort moderno eran temas cruciales en ese tiempo. La decisión condujo a un

¹ Se agradece la traducción a la versión en inglés a: Andrea Klatt, Verena Schultz-Coulon, Hendrik Schurig

sistema de aguas residuales con agua como medio de transporte como lo encontramos actualmente en todos los países industrializados. El valor de la excreta humana como fertilizante se consideró secundario y se aceptó la contaminación de aguas superficiales ya que en el inicio las aguas residuales se descargaban sin tratamiento en cuerpos de aguas receptoras. Se establecieron los cimientos para que la tecnología de 'fin de tubería' dominara el tratamiento de aguas residuales en países industrializados. Los expertos en Europa en esa época estaban conscientes de las diferentes técnicas para el manejo de aguas residuales por ejemplo en India, China, Japón y África. Los esfuerzos de los dos científicos arriba mencionados siguen en alta estima hasta la fecha.

Tendremos que responder a la pregunta de si el nivel actual de conocimientos sigue apuntando hacia las mismas respuestas razonables a las preguntas planteadas hace 140 años. ¿Hay preguntas sin responder? ¿Existen problemas en el futuro previsto que requieran mayor desarrollo en el manejo de aguas residuales?

Introducción

El HSE es proveedor de servicios municipales. Las tareas principales son abordadas desde una responsabilidad regional y no desde una visión lucrativa de mercado global. El suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales serán en el futuro asuntos a discutirse en el ámbito global, en especial en el caso del desarrollo y crecimiento de nuevas zonas conurbanas. El progreso no se puede alcanzar maximizando la optimización de utilidades. El HSE quiere posicionarse como una compañía tradicional competente para el servicio de aguas residuales con su participación en la conferencia.

Se pronostica que para 2050 la población mundial se incrementará en 2 mil 700 millones. Este crecimiento ocurrirá principalmente en países en desarrollo y en especial en zonas urbanas. El HSE ha pasado por un largo proceso de mucha experiencia e innovación en el área del tratamiento de aguas residuales en la región metropolitana de Hamburgo. Ahora puede ser de creciente interés internacional. Lo que puede parecer un problema resuelto en naciones industrializadas según los estándares actuales, es un grave problema para las grandes ciudades en países en desarrollo. Millones de personas mueren como resultado de tratamientos insuficientes de aguas residuales (las llamadas enfermedades a causa del agua).

El HSE se enfrenta a las evidentes tareas de precaución urbana hacia una sociedad futura, como consecuencia del incoherente desarrollo del sistema de 'fin de tubería'. El statu quo alcanzado en la tecnología global de tratamiento es muy diferente. Su valoración universalmente válida y las necesarias metas futuras hacen que la solución del problema sea muy difícil. – Tendrá que haber una reorientación; crear conciencia de la posición propia. Lo importante ahora es apuntar hacia un tratamiento sustentable de las aguas residuales.

Los países industrializados no necesitan reemplazar la manera funcional en que recolectan y tratan sus aguas residuales. Pero es importante hacer cambios. Ahora es el momento para innovar; para crear un escenario progresista de recolección y tratamiento de aguas residuales urbanas que satisfaga el nivel de experiencia práctica que a la fecha existe. El creciente entendimiento de los flujos de energía y nutrientes en el ámbito global puede ser una tierra fértil para tal progreso sustentable. Esto incluye una nueva evaluación de los procesos circulares regionales y de los efectos en los cambios climáticos. La acción resultante tendrá que estar integrada en estrategias de largo plazo.

El punto de vista representado en este documento puede parecer provocador para algunos lectores. Dadas las circunstancias en la región metropolitana de Hamburgo reducir la cantidad total de la producción de aguas residuales resultaría conflictivo. La cantidad promedio de agua utilizada por persona por día en Hamburgo es 120 l. Con base en el actual sistema de 'fin de tubería', resultaría fatal desde un punto de vista económico y ecológico promover mayores

progresos hacia el ahorro del agua. Para comenzar un mayor desarrollo necesario de la tecnología de aguas residuales en la región de Hamburgo, el ahorro del agua es un enfoque equivocado. Es el lugar equivocado en el momento equivocado.

Análisis

Un mayor desarrollo de la eliminación de aguas residuales no es sólo un asunto urbano. A largo plazo puede convertirse en un problema de vital importancia, si en la actualidad no existe un desarrollo hacia el futuro urbano. ¿Por qué es esto? Porque la eliminación de aguas residuales urbanas resulta en pérdidas irreversibles de recursos en muchas formas. Por un lado, el proceso de eliminación consume energía que se obtiene destruyendo sustancias valiosas. Por otra parte, la tecnología de 'fin de tubería' no elimina suficientemente los contaminantes como para evitar un continuo aumento en la contaminación ambiental. Además, tanto el suministro de agua como la eliminación de aguas residuales en zonas conurbanas en crecimiento implican mayores esfuerzos en la transportación. Algunos hechos ayudan a ilustrar la situación en Alemania.

- En Alemania, la descarga de minerales solubles en los cuerpos de aguas receptoras y, por lo tanto, en el mar, son de hasta 1 tonelada métrica por hectárea por año. En zonas conurbanas la descarga es aún mayor, hasta 5-6 toneladas métricas por hectárea por año, debido a los grandes sistemas urbanos para aguas residuales. En zonas conurbanas y sus alrededores, esto representa suelos empobrecidos con menor capacidad para la producción de biomasa reciclable. La elutriación de sustancias solubles está relacionada con el enriquecimiento de contaminantes no solubles en el suelo. La compensación de este efecto es muy difícil de manejar cuando no imposible. Las causas mismas deben cambiarse para limitar los daños.
- Además de las pérdidas por dispersión irreversible, debe mencionarse la pérdida de sustancias valiosas por su eliminación en el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Por un lado los nutrientes como el nitrógeno y el fosfato son eliminados con una alta demanda energética. Por otro lado, la producción de dichos nutrientes ha consumido una cantidad relativamente grande de energía primaria. Un manejo sustentable de sustancias valiosas no permite la destrucción de su valor.
- Los servicios de suministro de agua y eliminación de aguas negras para grandes poblaciones en zonas conurbanas incrementan los esfuerzos en su transportación. Las distancias recorridas para ofrecer servicios en dichas zonas son cada vez más grandes. La cantidad total del material suministrado va en aumento. Al mismo tiempo, debido al gran esfuerzo en el transporte, la eficiencia específica disminuye. Cada sustancia por separado tiene un valor diferente con un perfil diferente sobre cómo puede utilizarse. El sistema de 'fin de tubería' mezcla y diluye estas sustancias, de modo que no es posible una recuperación eficiente.
- Esta bien establecida tecnología de 'fin de tubería' ha alcanzado un cierto nivel de equilibrio entre efectos negativos y positivos. Agregar por ejemplo otro paso en el proceso de tratamiento puede por un lado reducir la contaminación ambiental, pero ésta puede ser neutralizada por efectos negativos colaterales que resulten del mismo paso. Técnicamente es posible reducir la contaminación de las aguas superficiales, es decir, remover los contaminantes hasta concentraciones aún más pequeñas, pero esto puede tener un efecto contraproducente en el ambiente después de todo. Es importante ver la raíz de las causas de la contaminación ambiental. No ha sido sino recientemente que las máximas de la ecológica han comenzado a considerar las raíces del problema de la contaminación ambiental, la compleja protección ambiental, las interacciones y los posibles efectos sorpresa que hay que combatir. Se debe centrar la atención en las emisiones totales causadas por la eliminación de aguas residuales. Esto incluye las emisiones gaseosas y

sólidas directas e indirectas integradas en el análisis de las necesidades globales y regionales.

- El problema de los micro contaminantes en aguas residuales es de creciente interés. Residuos de drogas llegan a las aguas residuales a través de la excreta humana. Otros microcontaminantes llegan a través de los productos de cuidado personal. Estos contaminantes y sus metabolitos tienen en común la posibilidad de tener características cancerígenas, teratogénicas o mutagénicas. Es muy probable que estas sustancias no sean acumuladas en los lodos residuales. La reducción o eliminación de micro contaminantes en el proceso de tratamiento de aguas residuales de 'fin de tubería' no es posible o al menos tiene poca eficiencia debido al factor de alta dilución. Las drogas que entran en los cuerpos de aguas receptoras de un sistema de aguas residuales pueden también incluir antibióticos. Como consecuencia, el número de bacterias resistentes se incrementa. Todavía no está claro si las plantas de tratamiento de aguas residuales simplemente fallan en remover las bacterias resistentes a los antibióticos o si son las responsables del incremento en la población de bacterias resistentes.
- Los sistemas tradicionales de 'fin de tubería' cuentan en la mayoría de los casos con un sistema de drenaje combinado (aguas residuales, agua de lluvia) con puntos de salida de emergencia. Las lluvias fuertes pueden causar desbordamientos de emergencia. Las aguas residuales diluidas entran en el ambiente sin ningún tratamiento. La descarga anual de carga de contaminantes resultantes de desbordamientos de emergencia puede llegar a ser igual a la carga de contaminantes del agua tratada que sale de la planta de tratamiento. Durante los últimos años se pudo apreciar un incremento en precipitaciones intensas en Alemania. Ya sea que esto indique o no cambios en el clima, parece ser que tiene un efecto negativo en la calidad de las aguas superficiales. La progresiva reducción en el consumo de agua dulce incrementa los depósitos en el sistema de drenaje-descarga. Como resultado, una mayor carga de contaminantes puede entrar a las aguas superficiales debido al desbordamiento combinado de aguas residuales durante fuertes lluvias.
- Los agentes floculantes y precipitadores, por ejemplo, ayudan a eliminar el fósforo. Pero también agregan sustancias adicionales al proceso de tratamiento que están mostrando efectos secundarios indeseables.
- Un análisis de los residuos resultantes de un sistema de tratamiento de aguas residuales con los estándares actuales de eliminación de aguas residuales indica que el proceso de un sistema de 'fin de tubería' es muy poderoso. De otra forma los residuos, que no son utilizables, son indicadores de que la preservación de recursos, en particular la recuperación de nutrientes, no es un objetivo de esta tecnología. El sistema de 'fin de tubería' está orientado a la eliminación y no al reciclaje de componentes valiosos.
- Los sistemas de aguas residuales de 'fin de tubería' están diseñados de tal forma que no favorecen la recuperación de recursos. Los mejoramientos a la tecnología de tratamiento siguieron otras prioridades. La tecnología y sus condiciones limitantes se desarrollaron durante un largo periodo de tiempo. Por ejemplo, un sistema de tarifas/impuestos basado en el consumo de agua dulce se interpone en el camino de un modelo de saneamiento sustentable. Uno de los principales objetivos, no sólo en zonas conurbanas es el nivel de hogares conectados al sistema de drenaje. En Alemania el promedio de conexión es 95%, en Hamburgo es incluso 99%. Esto no da lugar al desarrollo de nuevos modelos alternativos, sino que permite la opción de un mayor desarrollo del sistema existente.

La cadena de causa-efecto requiere un mayor desarrollo en los sistemas de 'fin de tubería'

Se discute el ejemplo del elemento nitrógeno con el fin de aclarar la necesidad de un mayor desarrollo del sistema de eliminación de aguas residuales en zonas conurbanas.

El enorme crecimiento de la población mundial durante el siglo XX de 1,500 millones a 6 mil millones, sólo fue posible gracias a la producción industrializada a gran escala de fertilizantes ricos en nitrógeno. Actualmente se requieren 13 kWh de energía primaria para la producción de fertilizante con 1 kg de nitrógeno. La producción de mucho más de 100 millones de toneladas de fertilizante rico en nitrógeno, sintetizado del nitrógeno atmosférico, actualmente consume 3% de la demanda energética mundial.

Un problema actualmente bien conocido, aunque todavía no resuelto, es la insuficiente capacidad de permanencia de los fertilizantes sintéticos ricos en nitrógeno dentro del ciclo de nutrientes y producción de biomasa, en contraste con el nitrógeno natural de la tierra. El porcentaje de pérdida es de al rededor de 50 %.

Sin embargo, desde el triunfo técnico en 1915 cuando por primera vez se pudo producir fertilizante artificial en cantidades ilimitadas, parece que es posible ofrecer suficiente alimento a la creciente población mundial. A la fecha, 2 mil millones de personas deben su vida a los fertilizantes artificiales. Sin fertilizantes artificiales ricos en nitrógeno, una hectárea de tierra puede alimentar a 10 seres humanos; con aplicación intensiva de fertilizantes artificiales, una hectárea actualmente alimenta a 40 personas. Se puede calcular que en el año 2050 la demanda alimentaria de 9,400 millones de personas podrá satisfacerse suficientemente con fertilizantes artificiales. Los factores limitantes no son la falta de comida, sino los efectos negativos que resultan del alto consumo de energía primaria para la producción de fertilizante artificial; el aumento necesario en el tráfico para la distribución de alimentos. Otro efecto negativo es el daño ambiental por pérdidas de nitrógeno, entre otras cosas, causado por la insuficiente utilización de nitrógeno orgánico. Como consecuencia, todos los medios se dañan al mismo tiempo: clima, agua y tierra.

Desde el comienzo de la agricultura industrializada durante los últimos 100 años, especialmente la población urbana ha crecido tremendamente. Mirando hacia el futuro, se espera que 80% del crecimiento poblacional mundial ocurra dentro de las ciudades. La urbanización empujó la producción de alimentos cada vez a zonas más remotas. Dentro de las conurbaciones las áreas verdes son constantemente transformadas en asentamientos; en Alemania al rededor de 130 hectáreas al día. Al expandirse las ciudades se extienden cada vez más las rutas de abasto y eliminación.

Debido a la reducción de la zona de producción para producir biomasa dentro de la conurbación, la cantidad de ciclos de nutrientes regionales también decrece, es decir, hay muy pocas posibilidades de utilizar material para reciclaje con contenido de nitrógeno. El reciclaje de nitrógeno orgánico está firmemente integrado en los ciclos globales. La eliminación de nitrógeno orgánico o su costosa destrucción es un paso en la dirección equivocada y hacia un "futuro destructivo" a largo plazo. La agricultura ecológica (con la utilización de materia orgánica) reduce la demanda de energía primaria – en relación con la demanda de nitrógeno, esto es un mejoramiento a la eficiencia, una minimización de las pérdidas de nitrógeno.

Uno de los objetivos de los tratamientos actuales de aguas residuales en Europa es remover el nitrógeno y por consecuencia proteger las aguas superficiales de la eutrofización. Esto se logra mediante nitrificación y desnitrificación, liberando moléculas de N_2 a la atmósfera al final de todos los pasos del tratamiento. En Hamburgo al rededor de 2 millones de personas están conectadas a la planta central de tratamiento de aguas residuales. La cantidad de excreta humana en el sistema de aguas residuales equivale aproximadamente 4.5 kg de nitrógeno por persona por año y en total 9 mil toneladas métricas de aguas residuales llegan a la planta de tratamiento cada año. Si asumimos que esta cantidad de nitrógeno tiene su origen en nitrógeno atmosférico ligado a fertilizantes artificiales que luego entra a la cadena alimenticia para terminar en las aguas residuales, esta cantidad de nitrógeno tiene un valor considerable. Aún más. Si consideramos una proporción de energía de 13kWh por 1 kg de nitrógeno (por ejemplo en urea), entonces 9,000 toneladas métricas corresponden a 120 millones de kWh por año.

La eficiencia de eliminación de nitrógeno es actualmente al rededor de 75%. Para eliminar 75% de 9,000 toneladas métricas = 6,750 toneladas métricas de nitrógeno en las aguas residuales de Hamburgo, se necesitan aproximadamente 30 millones de kWh. En total habría 150 millones de kWh disponibles para (re)utilización. Esto corresponde a aproximadamente 17 kWh por cada kg de nitrógeno. En lugar de invertir el esfuerzo descrito en transferir el nitrógeno de regreso a su estado molecular, es una tarea económica, al igual que ecológica, encontrar rutas para su utilización directa.

Aproximadamente 85% del total de nitrógeno entra a las aguas residuales concentrado en forma de orina. La tecnología de saneamiento ofrece la oportunidad de separar la orina de las heces. Junto con otros nutrientes contenidos en la producción anual de orina de una persona se podría abastecer fertilizante para una área de cultivo de 200 m², en especial debido a que esta forma de fertilizante es muy accesible para las plantas. En comparación con otros fertilizantes, el concentrado de orina muestra la concentración más baja de metales pesados. Los valores de cadmio y cromo están incluso por debajo de los valores del fertilizante de fósforo extraído de minas. El potencial fertilizante del concentrado de orina de Hamburgo es un área de cultivo de al rededor de 400 km². Es obvio que la orina es un recurso inagotable a nivel mundial. Considerando que las reservas de fosfato se están agotando y para reducir el consumo de energía en general, debe revalorarse esta utilización.

Las sustancias valiosas en las aguas residuales no se encuentran en forma aislada sino que están mezcladas y diluidas hasta 200 veces. Este es un dilema del sistema de 'fin de tubería'. ¿Cómo pueden recuperarse los recursos de las aguas residuales en una forma utilizable? – El primer paso en la solución debe ser un manejo de los flujos de materiales. La creación de flujos alternos en el origen de las aguas residuales es la forma de descentralización en zonas urbanas. Esta es la clave para un mayor desarrollo de los sistemas de 'fin de tubería' y, por supuesto, la condición necesaria para la utilización de valiosos componentes en las aguas residuales. Además, esta separación es un requisito importante para mejorar la eliminación de contaminantes.

¿Qué necesita hacerse? ¿Qué es posible?

La evolución necesita una causa, del mismo modo que el inicio de un cambio en la tecnología de residuos imperante. El análisis de la situación y la cadena causa-efecto ha demostrado que existe suficiente presión para un cambio que llama a un mayor desarrollo y adaptación de la tecnología de 'fin de tubería'. Las futuras "máximas de eliminación" demandan el uso de flujos materiales originales, cercanos a sus fuentes, antes de ser mezclados y, lo más importante, su utilización dentro de la región.

Las preguntas fundamentales son: ¿cómo puede obtenerse este flujo alternativo? ¿A dónde habrá que dirigirlo? ¿Por qué medios? y ¿cuál será su utilización-objetivo?

La fuerza motriz es la utilización-objetivo. ¿Dónde comenzar la formación de flujos alternos?

En la actualidad, en un sistema urbano bien desarrollado de 'fin de tubería' para el tratamiento de aguas residuales la incineración de lodos y tratamiento de aguas residuales es el estado del arte. La utilización por incineración es la actual tecnología de transición antes de encontrar posibilidades más efectivas de utilización. En Hamburgo contamos con una utilización casi completa de la carga de carbono de las aguas residuales en bruto a través de la incineración de lodos residuales y una inteligente estrategia de recuperación de energía. La proporción entre la producción y el consumo de electricidad durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales en la región metropolitana de Hamburgo está por arriba de 60%. Si se continúa optimizando el proceso, esta proporción podría todavía mejorarse un poco. Pero existe un límite: con una entrada constante de carbono al sistema y con límites estrictos confinados a la proporción de carbono:nitrógeno:fosfato (C:N:P) en las aguas residuales

municipales en bruto, la proporción de producción/utilización difícilmente puede mejorarse. Para un proceso de tratamiento de residuos con eliminación de nutrientes, nitrificación, desnitrificación y precipitación de fosfatos, este mejoramiento sólo puede lograrse si se reduce el consumo de energía del proceso. Para poder ahorrar energía es necesario influir en la proporción de C:N:P, en primer lugar con la eliminación de nitrógeno y en segundo lugar con los compuestos de fósforo. La mejor manera de hacer esto es separando la orina del sistema. Esto evidencia lo compleja que es la preferencia de separar la orina del sistema de aguas residuales.

La orina separada de la ciudad de Hamburgo podría abastecer de fertilizante a una extensión de al rededor de 400 km² de tierra de cultivo. Esto, dentro de la región metropolitana de Hamburgo es, por mucho, imposible. En las zonas de captación en conurbaciones y megaciudades no hay suficientes zonas de utilización disponibles para la producción de biomasa. Las ciudades van creciendo al convertir tierras de cultivo en asentamientos humanos. Todos estos hechos se contraponen a la utilización regional anticipada de la orina separada. La demanda estacional de fertilizante nos lleva a la conclusión de que la orina debe ser procesada en un producto almacenable de peso/volumen reducido que permita su transportación a las zonas de producción de biomasa. Así, el objetivo de utilización del proceso de ciclo cerrado dentro de distancias cortas se modifica ligeramente.

Si la intención de uso directo de la orina resulta cuestionable, también es posible fraccionar la orina separada en sus distintos compuestos para integrar el proceso de reciclaje.

En relación con las limitadas reservas de fosfato, el contenido de fósforo en la orina tiene un valor creciente que se enfatiza con su disponibilidad garantizada para el crecimiento de las plantas.

El potencial de utilización del nitrógeno en la orina separada todavía no se ha analizado. Hay un mercado generalizado para el consumo de urea producida industrialmente y es posible que la orina pueda utilizarse como sustituto; por ejemplo, para la eliminación de NO_x del gas que emana de los procesos de incineración. Va a haber una ley en la UE que estipulará que la tecnología de RCS (reducción catalítica selectiva), que ya es un proceso estándar en la industria, deberá utilizarse en los vehículos públicos. La limpieza de las emisiones de gas con la tecnología de RCS reduce la cantidad de NO_x en las emisiones con una solución acuosa de urea.

Las relaciones arriba descritas en esta publicación muestran un claro objetivo de transición para un mayor desarrollo de los sistemas de 'fin de tubería'. Próximamente en Hamburgo se determinará, con ayuda de simuladores matemáticos, la manera de aliviar el tratamiento de aguas residuales a través de la separación de orina. El resultado anticipado de esta investigación deberá ser una óptima proporción C:N:P en el flujo de entrada a la planta de tratamiento que pueda ser ajustado por medio de la separación de orina. El primer paso es una eliminación idealizada de nutrientes en forma biológica. A través de simulaciones y cálculos matemáticos se analizarán también los posibles efectos que se pueden esperar si en algunas zonas de captación definidas se instala la separación de orina con el fin de aligerar la carga de la planta de tratamiento. ¿Cómo se verá afectada la composición de los desbordamientos por agua de lluvia en puntos definidos de salida?

Con esos resultados analizados se puede entonces establecer el rumbo en relación con un mejoramiento del sistema de 'fin de tubería'; por ejemplo:

- Se pueden diseñar alternativas para extensiones futuras de la planta de tratamiento de aguas residuales que se ajusten a demandas cambiantes y a ciclos regulares de renovación de los equipos.
- Para todos los procesos de residuos habría la perspectiva de un potencial considerable para la reducción del consumo de energía y recursos.

- Surgirán posibilidades para una eliminación bien dirigida de compuestos problemáticos ya que la mayoría de los residuos de medicinas se transfieren a las aguas residuales a través de la orina.
- Se daría un paso prometedor hacia la recuperación del fósforo.

Conclusiones

HSE – con una exitosa tecnología desarrollada de ‘fin de tubería’ – está considerando la conversión del sistema preponderante de eliminación de aguas residuales: un salto cuántico en relación con el cuidado de la salud, la protección de todo el medio ambiente y el ahorro de recursos en Hamburgo.

Inevitablemente habrá soluciones para los problemas de urbanización en las naciones emergentes y los países en desarrollo.

La descarga de residuos –inherentes al sistema de ‘fin de tubería’– en cuerpos de agua hace que las innovaciones en las mejoras sean difíciles debido a tarifas legalmente reguladas aplicadas a las aguas residuales según la reglamentación de la misma tecnología de ‘fin de tubería’. Esto es una novedad en Alemania. Sería también una novedad hacer asequibles las tarifas de aguas residuales como un cambio inicial de la tecnología de ‘fin de tubería’, una contribución alemana para ayudar al desarrollo tecnológico.

Con el desarrollo del proceso técnico de aguas residuales, las condiciones básicas que obstaculizan un mayor desarrollo del sistema de ‘fin de tubería’ también se desarrollaron. La conexión entre el financiamiento del procesamiento de residuos y el consumo individual de agua deja poco espacio para futuras inversiones, en especial cuando la tecnología preponderante de tratamiento de residuos tiene una proporción alta de costos fijos. La creciente tendencia regional hacia el ahorro del agua está basada en un malentendido de las conexiones ecológicas y económicas y de los antecedentes. La ilimitada propagación de medidas para ahorrar agua e incluso de subsidios en este sentido es desastrosa, debido a que esto no conduce al potencial antes mencionado del ahorro de energía y recursos. Por el contrario, esta puerta estará cerrada. Actualmente las aguas negras –heces y orina– tienen un potencial de utilización mayor a 100kWh por persona por año. Este asunto no se mostró completamente en este documento. En comparación con este potencial de utilización, el potencial de ahorro debido a menos agua para descarga del inodoro es muy pequeño y se anula debido a que a fin de cuentas el mantenimiento del sistema de drenaje de ‘fin de tubería’ se incrementará.

El uso eficiente de la energía y los recursos es la clave para la sustentabilidad. El ahorro del agua –hasta ahora– hace imposible que se tomen medidas necesarias. El ahorro del agua está afectando el ingreso por tarifas para un manejo sustentable del agua y en última instancia pone en riesgo los estándares alcanzados por el sistema de ‘fin de tubería’.

Para concluir, se puede decir que un mayor desarrollo del sistema de ‘fin de tubería’ requiere una inversión consiguiente: los flujos alternos deben obtenerse en donde se originan las aguas residuales. Esto permite la recuperación de nutrientes en ciclos regionales. Tal desarrollo puede verse como una contribución urbana para un manejo eficiente y sustentable de recursos como energía, nutrientes y no sólo agua.

Los pioneros británicos del manejo de aguas residuales hace 140 años, que mencionamos anteriormente, bien podrían identificarse con los recientes cambios en los objetivos de una futura tecnología de residuos. En retrospectiva queda claro que el desarrollo de sistemas debe integrarse en estrategias de largo plazo. El rumbo se establece ahora.

Referencias

- Gleick, Peter H. 2002: Dirty Water: Estimated Deaths from Water-Related Diseases (Agua sucia: muertes estimadas por enfermedades relacionadas con el agua) 2000-2020. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security www.pacinst.org 1-12
- Johannsson, M.; Jönsson, H.; Höglund, C.; Richert-Stintzing, A.; Rodhe, L.: Urine Separation-Closing the Nutrient Cycle (Separación de orina – cerrando el ciclo de nutrientes). Stockholm Vatten, Stockholmshem, 2000
- Lawes, J.B.; Gilbert, J.H.: Über die Zusammensetzung, den Werth und die Benutzung des städtischen Kloakendüngers (Übersetzung aus dem Englischen: Julius von Holtzendorff, Verlag von Carl Flemming, 1-13, 1867
- Londong, J.: Brauchen wir neue Sanitärkonzepte? Bericht über den 1. Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe GB B.1 'Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft' anlässlich der ATV-DVWK-Bundestagung in Weimar, 2002
- Maurer, M.; Larsen, T.A. (2002): Nutrients in urine: energetical aspects of removal and recovery (Nutrientes en la orina: aspectos energéticos de eliminación y recuperación). Presentado en la conferencia de IWA 'From Nutrient Recovery' en Amsterdam, octubre 2002. Water Science and Technology
- Otterpohl, R.; Oldenburg, M.: Schließung von Stoffkreisläufen in urbanen Siedlungsstrukturen in: Wasserwirtschaft in urbanen Räumen – Anforderungen und Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit, UTECH Berlin 98, Schriftenreihe Wasserforschung, Band 3, Berlin 1998
- Ripl, W.; Wolter, K.-D.: Stoffstrommanagement nach dem Energie-Transport-Reaktions-Modell, Wasser & Boden, 53/10, 4-9, 2001
- Smil, Vaclav: Weltbevölkerung und Stickstoffdünger, Spektrum der Wissenschaft, septiembre, 1997, 38-44

Implementación de un modelo de saneamiento de ciclo cerrado en el municipio de Yang Song, China

Ina Jurga
Bianca Gallinat
Heinz-Peter Mang

Proyecto ecosan de GTZ
(GTZ) GmbH
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5, D-65726 Eschborn, Alemania
Internet: gtz.de/ecosan
e-mail: inajurga@hotmail.com
e-mail: b.gallinat@web.de
e-mail: heinz-peter.mang@gtz.de

Palabras clave

Estudio de factibilidad

Introducción

Este documento presenta un estudio de factibilidad del proyecto ecosan de GTZ para la zona urbana del municipio de Yang Song, que se encuentra en la provincia de Pekín. Este estudio se llevó a cabo con la cooperación de IEEP, Pekín, y el apoyo de los consultores chinos Wang Gehua, Wang Li Xian y Han Di. De junio a octubre 2002 se llevó a cabo la recolección de información preliminar para considerar la planificación del desarrollo y las condiciones ambientales para el municipio de Yang Song. Esta es la base inicial para las recomendaciones en el campo del saneamiento ecológico integrado, preferiblemente apropiadas para tecnologías innovadoras.

Con la urbanización y modernización, Yang Song, como otras ciudades en desarrollo en China, está enfrentando un gran reto ambiental, particularmente en relación con el manejo de residuos y el tratamiento de aguas residuales. La implementación de sistemas sanitarios de arrastre de agua y la planeación de la construcción de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales están privando a los agricultores locales -quienes todavía dependen del uso tradicional la excreta humana*- de valiosos nutrientes. Como el ayuntamiento local de Yang Song está actualmente evaluando diversas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales municipales, este estudio pretende producir una definición de una estrategia ecosan conjuntamente desarrollada para el distrito urbano y rural. Debido al estatus de municipio modelo y los próximos Juegos Olímpicos de Pekín en 2008, los expertos del proyecto ecosan GTZ esperan un efecto promocional en otras municipalidades y ciudades en China y el mundo.

Descripción del municipio de Yang Song

El municipio de Yang Song está ubicado en la provincia de Pekín a 45 km de la capital china. Está formado por una ciudad y 15 aldeas. Tiene una población total de 20 mil habitantes.

Yang Song fue nombrado "municipio modelo" para una construcción de una ciudad pequeña en 1997. Este estatus obliga al gobierno a desarrollar el sector urbano e industrial y a proteger y mejorar las condiciones ambientales. En el plan de desarrollo municipal el gobierno planea fusionar las 15 aldeas en 9, y reubicar la población de las aldeas en la ciudad para 2010, incrementando su población a 50 mil. Con este propósito en 2001 se comenzó la construcción

^{*} N.T. "nightsoil" término que se utiliza para referirse a una mezcla de heces y orina sin tratamiento que se aplican sobre tierras de cultivo.

de nuevos conjuntos de apartamentos en forma de paneles. Adicionalmente el gobierno desea atraer residentes de Pekín de clase media y alta para que se muden a este suburbio e inviertan en un nuevo distrito residencial 'campestre' ofreciendo una atmósfera ambientalmente amigable.

La economía de Yang Song todavía está dominada por el sector agrícola. Las principales actividades agrícolas son la cría de animales, con un crecimiento proyectado en el número de cabezas de ganado durante los próximos años. Además, está habiendo un giro en la producción de cultivos clásicos (granos, lúpulos) a plantas económicas (plantas medicinales, ginseng, aloe vera, flores, etc.).

Yang Song se ubica en la principal zona de captación para el suministro de agua en Pekín. La alta demanda y consumo de agua en la provincia de Pekín ocasiona una fuerte extracción de recursos de los acuíferos, con niveles de disminución de hasta 1.5 metros por año. Yang Song depende fuertemente de los recursos en los acuíferos ya que son la fuente de abasto de agua dulce para uso doméstico, industrial, agrícola y ganadero. Además, durante los últimos años, el cauce de tres ríos en Yang Song ha disminuido, incluso en temporada de lluvias.

La construcción del drenaje para la ciudad y el distrito industrial se terminó de construir en noviembre de 2002 y desemboca a 2km al sur de la ciudad. Actualmente no existe ningún tratamiento para las aguas residuales municipales y se descargan en los campos aledaños. El ayuntamiento de Yang Song está buscando una solución, con capacidad de aproximadamente 2000 m³/día, con la posibilidad de incrementar en el futuro a 5000 m³/día. Todas las casas nuevas están equipadas con sanitarios modernos de arrastre de agua.

No se ha planeado un sistema de drenaje para las aldeas y la población depende del saneamiento *in situ*. El diseño y las condiciones higiénicas varían según el estatus económico de la población: los aldeanos pobres tienen simples letrinas de fosa, mientras que los pobladores más ricos tienen sanitarios con losas para acullillarse conectados a fosas sépticas y utilizan aguas grises recicladas para la descarga de los sanitarios. En tres aldeas se ha introducido un dispositivo para descarga con aguas grises y una fosa séptica de tres compartimientos con apoyo económico del comité. Tanques aspiradores recolectan el contenido de las fosas y el lodo se esparce sobre los campos locales. La familia paga 10 Yuan/m³ (~1,2 \$) a una compañía privada de recolección por este servicio.

Estrategias ecosan potenciales en Yang Song:

La municipalidad de Yang Song representa una zona cerrada, con componentes tanto urbanos como rurales que pueden garantizar la utilización en agricultura local. Otros argumentos promocionales para un concepto ecosan son:

Medio ambiente:

- Presión por ahorro de agua y acuíferos en una zona de escasez de agua.
- Gran potencial para sustitución de agua dulce – acuíferos – por ejemplo: como agua para irrigación en jardines, agricultura, áreas verdes y en el actual parque acuático.
- Hay una pérdida de alto contenido orgánico (60% y más) en los desechos domésticos y de mercados debido a su eliminación en tiraderos. Los tiraderos actuales están abiertos, sin drenaje, sin protección de acuíferos, captación de gas, cubierta o captura de lixiviados.

Saneamiento

- Se requiere mejorar el saneamiento en las aldeas pobres.
- Ya se están promoviendo la eliminación higiénica y las letrinas sanitarias con uso de aguas grises como agua de arrastre.

- Los hogares de la zona residencial campestre pueden decidir sobre sus instalaciones sanitarias.

Sector agrícola

- Los agricultores aún dependen del estiércol humano proveniente de las aldeas y del estiércol animal proveniente de las granjas. No existe ningún prejuicio social sobre la utilización de la excreta humana en la agricultura, aunque se estima una sobre fertilización con fertilizantes artificiales, excreta humana y estiércol animal.
- Las granjas de cría tienen que cumplir con una nueva ley sobre prevención de contaminación por producción de ganado que entró en vigor en octubre 2001.
- Creciente demanda de fertilizantes para plantas económicas, pero bajo reglamentos ambientales más estrictos.

Nivel gubernamental

- Existe la voluntad y presión pública por mejorar el ambiente (“característica modelo”).
- El gobierno está interesado en implementar tecnologías y estrategias avanzadas.
- Se está buscando una solución para el tratamiento de aguas residuales municipales de los actuales sistemas de arrastre de agua y las industrias no contaminantes y se ofrecen apoyos financieros y tierra sin costo.

Desventajas para ecosan

- La construcción del drenaje de la ciudad se terminó de construir en noviembre 2002. La ubicación ya es fija y es prácticamente imposible modificar los primeros pasos.
- Existe una experiencia limitada de estrategias ecosan en zonas urbanas o de grandes asentamientos.
- Las aguas industriales de todas formas necesitan ser tratadas y no se logra fácilmente separar los componentes.
- Las bajas tarifas del agua, que incluyen las cuotas de aguas residuales, no alcanzarán a cubrir los costos de operación y mantenimiento. Se requiere apoyo financiero.
- El futuro desarrollo del municipio (construcción, sector agropecuario e industrial, población, etc.) está estrictamente vinculado con el desarrollo económico, lo cual hace difícil la proyección y planificación.

Otras consideraciones

Ya que los agricultores en Yang Song dependen de la excreta humana, el estiércol animal y los fertilizantes artificiales, debe investigarse cuidadosamente la necesidad de la orina o el compostaje de lodos fecales y residuos orgánicos. Por lo tanto es importante contactar y cooperar con el Departamento de Agricultura local, el cual puede dar orientación y apoyo.

Separación de orina:

La separación de orina es un mecanismo tradicional en China, e incluso se ha probado su funcionamiento en los modernos eco-sanitarios en la provincia de Guanxi. Sin embargo en Yang Song no existe la separación de orina en ninguna parte del municipio. Para la implementación de sanitarios separadores de orina en los nuevos edificios la construcción en paneles permitiría un diseño estandarizado. Por otro lado, los pequeños cuartos de baño limitan las posibilidades de instalación y se pueden esperar fallas debido al alto número de habitantes.

Composta y excreta humana como abono:

Todavía se utilizan en Yang Song la excreta humana y el estiércol para fertilizar los campos. Sin embargo, no se lleva a cabo un control de la calidad higiénica y la utilización del producto. Se debe considerar la existencia de un servicio comercial de recolección e integrarlo en el diseño del concepto.

El procesamiento y utilización de composta no se ha observado en Yang Song. La composta debería representar una nueva forma de fertilización para los agricultores y podría requerir un cambio en los hábitos tradicionales. La implementación de una 'nueva' tecnología, como el compostaje, para Yang Song puede parecer costosa.

El concepto de agua

El concepto de agua se enfoca específicamente en el ahorro del agua, infiltración de agua de lluvia, reuso y control de descarga para proteger los recursos hídricos.

Ahorro de agua:

Es posible el ahorro de agua a nivel doméstico, industrial y en zonas agrícolas. En las aldeas, con bajo consumo de agua y utilización de aguas grises para descarga del sanitario, es difícil lograr un mayor ahorro de agua.

Infiltración de agua de lluvia:

Como el agua de lluvia se recolecta con una red de tubería separada, y la precipitación ocurre principalmente en los meses de verano, la separación de las aguas residuales municipales parece prometedora. Esto minimizaría la capacidad de la planta y además beneficiará la recarga de los acuíferos.

Control de descarga:

Para la protección del recurso hídrico, especialmente de los acuíferos, es muy importante un control de descarga. Se debe tener especial control sobre la contaminación proveniente de actividades agrícolas como el exceso de fertilizantes y la infiltración del estiércol que son causantes de la eutrofización en los cursos de agua. Para la futura planta de tratamiento debe controlarse el efluente. Esto debe hacerse regularmente por el Departamento de Protección Ambiental del condado de Huai Rou, y ser respaldado por medidas del gobierno de Yang Song.

Reutilización:

Existe un gran potencial en la municipalidad para la reutilización del agua en lugar del consumo de los acuíferos. Especialmente en el caso de la irrigación, el agua de los acuíferos puede sustituirse en mayor o menor medida con aguas grises, aguas industriales procesadas, agua de lluvia y en un futuro con aguas residuales tratadas. En los meses de verano, cuando la demanda de agua para irrigación es muy alta, las áreas verdes y el parque acuático pueden beneficiarse de las aguas recicladas. La irrigación de cultivos, plantas y en especial de flores puede hacerse con aguas residuales pre-tratadas.¹

El concepto de nutrientes:

El concepto de nutrientes hace énfasis en la recuperación de los nutrientes en la orina, los lodos fecales y el agua residual. Los nutrientes benefician la agricultura local y pueden apoyar –y hasta cierto grado sustituir– a los fertilizantes artificiales.

¹ En China la irrigación con aguas residuales debe cumplir con los 'estándares nacionales de calidad del agua de irrigación [GB5084-92]' que toman en cuenta el tipo de zona de irrigación y el tipo de cultivo.

En las aldeas la utilización de los lodos fecales provenientes de letrinas y de fosas sépticas es todavía una práctica común y la intención es garantizar su utilización segura a través de un diseño aprobado y un tiempo de almacenamiento suficiente².

Para la ciudad una planta convencional de tratamiento de aguas residuales eliminará y no recuperará los nutrientes y los lodos resultantes tendrán que ser eliminados. Pero en un concepto ecosan la producción de fertilizante a partir del proceso de tratamiento es un factor importante. Los lodos que se producen en las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden utilizarse como acondicionadores de suelo y fertilizantes después de un tratamiento. El compostaje de los lodos controlará la mayoría de los patógenos y si se comercializa adecuadamente puede contribuir a la viabilidad económica de la planta de tratamiento. Sin embargo, debe calcularse cuidadosamente la proporción de aplicación agrícola de los lodos compostados. No es necesario considerar la acumulación de metales tóxicos en el suelo ya que en Yang Song las aguas residuales son consideradas domésticas y no hay componentes peligrosos.

De acuerdo con la legislación agrícola, el tratamiento del abono animal antes de utilizarlo en la agricultura es ahora inminente. En forma adicional, una fracción separada de residuos orgánicos proveniente de los residuos municipales puede tratarse ya sea en plantas de biogás o en pilas separadas para composta que también pueden compostar lodos residuales.

Propuestas técnicas y prácticas

Se están realizando propuestas en el campo de los equipos sanitarios (ver tabla 1) y para el tratamiento de los diferentes flujos de aguas residuales (ver tabla 2). Para un mejor entendimiento y para ofrecer propuestas adecuadas se ha diseñado una matriz. En relación con las diferentes condiciones las zonas del municipio se han dividido en aldeas y ciudad (que a su vez se divide en residencial e industrial), y con respecto a la planificación de desarrollo en estructuras existentes, nuevas y planeadas.

Aldeas

El diseño de saneamiento *in situ* debe mejorarse y asegurar una utilización higiénica de la excreta humana como abono. Los sanitarios diseñados con losa para acucillarse y aguas grises para la descarga con conexión a una fosa séptica son una tecnología muy adecuada. Para la recolección de aguas grises hay alternativas al sistema convencional de drenaje: drenaje simplificado y sistema por sedimentación. Si en una familia se crían animales, los bien conocidos sistemas chinos de biogás con conexión al sanitario parecen ser la mejor solución.

Recomendaciones para las zonas habitacionales existentes

Para la zona de edificaciones en panel ya existente y para las nuevas zonas de edificios en paneles sólo es posible separar las aguas residuales domésticas de las aguas pluviales, debido a razones económicas ya que los inversionistas son compañías de bienes raíces que no están todavía dispuestas, sin subsidios adicionales, a invertir en dos sistemas internos de tubería. No es posible realizar todos los cambios al mismo tiempo, pero para un futuro trabajo de restauración y rehabilitación deberán siempre respetarse las soluciones ecológicas. Para permitir una reutilización descentralizada de aguas residuales se recomienda una combinación de los "Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales" desarrollados por CEEIC (Chengdu) y HRIEE (Hangzhou).

² Los 'estándares nacionales para la eliminación de la excreta' se promulgaron en 1987 [GB 7959-87]. Actualmente se promueven 5 tipos de letrinas sanitarias en China: letrina con fosa séptica con tres compartimientos; letrina triplex de biogás; letrinas VIP (ventilada mejorada) y eco-letrinas con desviación de orina.

Para un mejoramiento *in situ* de la calidad de las aguas residuales se pueden construir cámaras filtrantes para las casas en la **zona residencial campestre**, que ya está en construcción, que den un tratamiento a las aguas residuales de las fosas sépticas existentes. Los futuros residentes podrán decidir sobre sus muebles sanitarios, por ejemplo, un sistema desviador de orina podría ser una solución adecuada.

	Aldea	Ciudad			
		Edificios residenciales	Edificios comunales	zona residencial campestre	Industria
Existente	Diseño mejorado de letrinas: sanitarios con descarga de aguas grises o con separación de flujos	(Difícilmente puede haber cambios)		Los dueños pueden decidir sobre el equipo sanitario:	(Difícilmente puede haber cambios)
Nueva		Mejorar los sanitarios con mecanismos de ahorro de agua		Difícil Implementar sanitarios desviadores de orina, preferible un sistema de sanitarios y drenaje de vacío; eliminación separada de aguas grises y negras	Mejorar los sanitarios con mecanismos de ahorro de agua
Planeada		-	Eliminación separada de aguas grises y negras. Sanitarios con mecanismo de ahorro de agua, con aguas grises para descarga.		Eliminación separada de aguas grises, negras y procesadas. Sanitarios con mecanismo de ahorro de agua, con aguas grises para descarga; reuso de aguas procesadas

Tabla 1: Recomendaciones para equipos sanitarios

	Aldea	Ciudad			
		Edificios residenciales	Edificios comunales	Zona residencial campestre	Industria
Existente	Diseño mejorado de fosa con tiempo de retención o Drenaje simplificado con biogás o sanitarios secos separadores	DEWATS Modular expandible		-	Tratamiento con aguas residuales residenciales (cuando la calidad de aguas residuales sea igual a la de las aguas residuales domésticas)
Nueva		Tratamiento separado de aguas negras y aguas grises Aguas negras: fosas sépticas subdivididas (<i>baffled</i>) con filtro anaeróbico de flujo ascendente, post-tratamiento de lodos en estaciones de biogás		Los dueños pueden decidir: Tratamiento <i>in situ</i> : fosas sépticas con cámaras filtrantes anaeróbicas, separación en seco, etc.	
Planeada		Aguas grises: planta de tratamiento comunitaria descentralizada con un tanque Imhoff o humedales de tratamiento			Pre-tratamiento hasta obtener calidad igual a las aguas residuales domésticas

Tabla 2: Recomendaciones para el tratamiento de diversos flujos de aguas residuales

Recomendaciones para las zonas habitacionales nuevas

Se deben implementar sistemas de recolección separada de aguas grises y aguas negras con tratamiento secundario. Una de las alternativas factibles es el tratamiento in situ de aguas negras con fosas sépticas subdivididas (*baffled*) con filtro anaeróbico de flujo ascendente que promete altos beneficios en eficiencia de costos. Después de un pre-tratamiento, las aguas negras tratadas son descargadas a través de tuberías al vacío en estaciones de biogás para un post-tratamiento de lodos en donde se agrega la fracción de sólidos orgánicos de los residuos municipales y los efluentes pueden ser devueltos a la tierra en lagunas digestoras de lodos y/o utilizarse directamente como acondicionador líquido para suelos.

Las aguas grises se recolectan en plantas de tratamiento comunitarias descentralizadas que consisten en un tanque Imhoff / laguna de estabilización de residuos o humedal de tratamiento integrado en las áreas verdes de la ciudad.

Implementación de saneamiento seco urbano a gran escala: una agenda para la acción*

Ana Córdova
Barbara A. Knuth

Departamento de Recursos Naturales de Fernow Hall
Universidad Cornell, Ithaca
Nueva York 14853, EUA
e-mail: ac58@cornell.edu
e-mail: bak3@cornell.edu

Palabras clave

Saneamiento ecológico, sanitarios composteros, sanitarios secos, México, periurbano, implementación de programas

Resumen

Se sabe relativamente poco acerca de la implementación del saneamiento seco en gran escala en el medio urbano. Se estudió un extenso rango de experiencias de saneamiento seco urbano a gran escala en México para evaluar la viabilidad del saneamiento seco en estos contextos, con particular énfasis en aspectos de implementación de los programas y satisfacción de los usuarios. Se aprendieron lecciones y se identificaron las necesidades de investigación y desarrollo con base en comparaciones cruzadas entre múltiples ubicaciones. Varios resultados y recomendaciones de este estudio confirman los de otras experiencias internacionales. Las recomendaciones para mejorar la implementación de los programas y la satisfacción de los usuarios incluyen estrategias estéticas, operativas y estructurales. Las recomendaciones que se ofrecen para el desarrollo del saneamiento seco incluyen la consolidación de información de base, coordinación de la investigación con la implementación del programa y el intercambio sistemático de información entre los distintos lugares de implementación. Los enfoques recomendados para implementar estas recomendaciones incluyen investigación para la acción; gestión adaptativa; mercadeo social; evaluación participativa de la tecnología; difusión participativa de innovaciones con facilitación externa y voluntad para implementar opciones intermedias de saneamiento seco. Sólo a través de la práctica y la experimentación en una variedad de circunstancias podrá saberse si el saneamiento seco puede alcanzar todo su potencial. Es nuestro deseo que este documento contribuya a estos desarrollos.

Introducción

El saneamiento seco¹ (SS) puede aliviar algunos de los retos sociales y económicos que enfrenta el actual saneamiento basado en agua (Primera conferencia internacional sobre saneamiento ecológico, 2001). A pesar de que muchos han propuesto el saneamiento seco como una importante estrategia para zonas urbanas, la experiencia a gran escala y en asentamientos urbanos es todavía limitada (Holmberg, 1998; Winblad, 2000; Esrey, 2002). Este estudio evalúa la viabilidad del saneamiento seco a gran escala en contextos urbanos a través de la investigación de un amplio rango de dichas experiencias en México. En ese país se han instalado un gran número de sanitarios secos bajo una extensa variedad de programas y modalidades, utilizando diversos modelos de sanitarios (Córdova, 2001). La diversidad de

*Este documento ha sido revisado por el comité científico del simposio

¹ Con este término nos referimos a los sistemas de saneamiento *in situ* que no utilizan agua o sólo en cantidades mínimas para sanear la excreta y procesarla para convertirla en un material seguro y bueno para los suelos.

condiciones sociales, institucionales, técnicas y climáticas permitieron investigar un extenso conjunto de posibilidades de implementación de saneamiento seco y la identificación y análisis de variables que se aplican a otros escenarios más allá de México. Los resultados mexicanos tienen mayor relevancia por la consistencia entre la satisfacción de los usuarios y la implementación de los programas con aquellos reportados por otras experiencias internacionales (ver Córdova, 2003).

Este documento presenta resultados del análisis de experiencias de saneamiento seco en zonas urbanas mexicanas y propone recomendaciones para la investigación y la acción en el desarrollo de saneamiento seco urbano a gran escala, con énfasis en la implementación de programas y la satisfacción de los usuarios. Para centrar la atención en las necesidades políticas y de investigación, este documento no describe en detalle los análisis de los casos que llevaron a estas recomendaciones, dichos análisis se presentan en Córdova (2003).

Métodos²

La investigación de campo para este estudio se llevó a cabo entre agosto 1999 y diciembre 2000. Los métodos de investigación incluyeron: entrevistas a profundidad semi-estructuradas con 50 profesionales asociados con la implementación de saneamiento seco en diversas

Ubicación de los sitios estudiados con saneamiento seco



Figura 1: Sitios estudiados con saneamiento seco urbano (Mapa creado por K.A. Schafft)

(EUA) y la revisión de la literatura sobre satisfacción de los usuarios e implementación de programas de saneamiento seco en zonas urbanas a nivel mundial proporcionaron información complementaria para el análisis de las experiencias mexicanas.

Resultados

El análisis de las experiencias mexicanas demuestra que:

- El saneamiento seco se ha implementado ampliamente en México incluso a gran escala en una diversidad de escenarios urbanos. Diversas organizaciones (públicas, privadas, no

² Para un informe detallado de los métodos, ver Córdova (2003).

lucrativas y comunitarias) al igual que individuos han creado programas de saneamiento seco y han difundido esta tecnología y enfoque.

- b) La diversidad y número de promotores y participantes en los programas de saneamiento seco muestran que la implementación del saneamiento seco tiene lugar en una compleja topografía de culturas organizacionales y situaciones sociales locales específicas. Es importante reconocer y comprender esta complejidad en los esfuerzos por avanzar y mejorar la implementación del saneamiento seco.
- c) La satisfacción de los usuarios fue alta en la mayoría de los sitios mexicanos – tanto entre usuarios de altos ingresos como de bajos ingresos – en programas a pequeña y gran escala, en diferentes climas y condiciones institucionales y con varios modelos diferentes de sanitarios. El funcionamiento adecuado de los sanitarios secos, la motivación de los usuarios y la creación de la demanda fueron elementos importantes en la satisfacción de los usuarios.
- d) La satisfacción de los usuarios y la aceptación de la tecnología pueden incrementarse mejorando la comodidad y apariencia de los sanitarios secos, su operación, los servicios de apoyo para el manejo de los productos finales y con incentivos económicos.
- e) Los programas han enfrentado una variedad de problemas estructurales y problemas operativos recurrentes, los cuales pueden ser abordados con un conjunto integral de estrategias que a continuación se presentan³.

Recomendaciones para una mejor implementación de los programas y mayor satisfacción de los usuarios

Las siguientes recomendaciones surgen de los resultados de esta investigación.

1. Para incrementar la satisfacción y aceptación de la tecnología en los usuarios urbanos, es importante mejorar la apariencia estética de los sanitarios secos, procurar mayor facilidad de uso y disminuir el trabajo de los usuarios, ofrecer servicios efectivos de apoyo y desarrollar incentivos sociales y económicos.
2. A nivel operativo, la efectividad del programa puede mejorarse comunicando claramente que un programa de saneamiento seco incluye un conjunto *completo* de etapas: selección del modelo o los modelos de sanitario; promoción/diseminación; producción/construcción del sanitario; entrega del sanitario; entrenamiento/re-entrenamiento del usuario; seguimiento y servicios de apoyo; manejo de los productos finales y evaluación y retroalimentación. Dejar de lado cualquiera de estas etapas puede poner seriamente en riesgo el éxito del programa. El éxito de un programa a gran escala también depende fuertemente de mantener un equilibrio entre la infraestructura, los conocimientos y la capacidad operativa del programa. Este equilibrio se suele perder en los programas a gran escala donde la planeación y los recursos insuficientes dirigen su atención principalmente a la infraestructura. Los programas de saneamiento seco serán más exitosos si se promueven junto con una adecuada oferta de sistemas de manejo de residuos sólidos y aguas grises.
3. A nivel estructural, la implementación de los programas de saneamiento seco se puede mejorar transformando el saneamiento seco de una tecnología experimental, apoyada por programas pequeños o especiales, a una infraestructura formal apoyada por empresas de servicios públicas o privadas. Esto estaría apoyado por un enfoque general de saneamiento que contemple un repertorio tanto de sistemas de saneamiento seco como de agua igualmente adecuados y socialmente aceptados. Con este fin será importante diseminar información entre profesionales y políticos que contrarreste la resistencia a las alternativas de saneamiento e incremente el estatus social del saneamiento seco a través de su uso por

³ Para una descripción completa de los problemas y explicación detallada de las estrategias ver Córdova (2003).

residentes de altos ingresos para reducir las interpretaciones equivocadas del saneamiento seco como una tecnología de segunda.

Recomendaciones para el desarrollo del saneamiento seco

La comparación cruzada de múltiples sitios permitió la identificación de las lecciones aprendidas y de las necesidades de desarrollo adicionales. La implementación de las recomendaciones arriba mencionadas y el subsiguiente desarrollo del saneamiento seco se beneficiarían de un enfoque de tres aristas: la consolidación de una sólida información de base y la identificación de huecos de información; b) la estructuración de la investigación en coordinación con la implementación del programa para revelar los efectos de variables importantes en el éxito del programa así como clarificar el conocimiento y los huecos de información y c) El intercambio sistemático y oportuno de información entre sitios (programas) para acelerar el aprendizaje (Figura 2). Se requiere amplitud y profundidad en nuestro entendimiento sobre la implementación actual del saneamiento seco, así como comunicación vertical y horizontal dentro y entre las experiencias de saneamiento ecológico en el mundo. La investigación de múltiples sitios y las comparaciones cruzadas estructuradas ayudarán a ambos propósitos. A continuación presentamos una discusión de las necesidades identificadas,

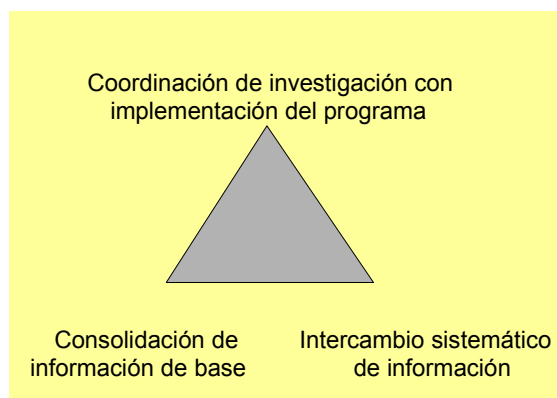


Figura 2: Las tres áreas de necesidad de investigación y desarrollo del saneamiento seco

particularmente en su relación con la implementación de los programas y la satisfacción de los usuarios. Varias de estas necesidades han comenzado a atenderse en algunas regiones, pero pueden desarrollarse y sistematizarse aún más como se sugiere más adelante.

1. Información de base

Las investigaciones futuras y el mejoramiento de los programas dependen de la continua identificación y descripción de experiencias de saneamiento seco, por país, por región y a nivel mundial. La investigación en México demostró que hay muchas experiencias de saneamiento seco que no están registrados, no se reportan o no se conocen por ninguna red establecida de

profesionales del saneamiento seco. Estas experiencias no descritas no cuentan ni con el beneficio del aprendizaje conjunto que ofrecen las redes de saneamiento seco y los simposios, ni los simposios y redes de saneamiento seco se benefician del aprendizaje de aquellas.

Para la consolidación de una información de base sugerimos que se generen:

- a) Censos de experiencias de saneamiento seco (descritos según un conjunto de variables acordadas que pueden incluir variables del programa como número de familias/individuos atendidos, modelo(s) de sanitario utilizados, costos para el programa y para el usuario, motivación del programa, organización(es) ejecutora(s), tipo de escenario (rural/urbano), tipo de capacitación utilizada, tipo de servicios de seguimiento que se ofrecen, fecha de inicio/duración del programa, estatus actual del programa y variables de los usuarios como nivel de ingresos, nivel de elección, nivel de demanda, tipos de motivación, etc.⁴). Estas estadísticas de saneamiento seco deberían publicarse regularmente y ser accesibles
- b) Organismos distribuidores de literatura e investigaciones a nivel nacional, regional y mundial. Algunos ya se han comenzado a crear (e.g. Biblioteca del Proyecto Ecosan GTZ; RedSeco en México), pero sería conveniente fortalecer estas colecciones a través de la extensión de su cobertura temática y geográfica, la creación colecciones/bibliotecas físicas

⁴ Dicho formato se utilizó para describir las experiencias mexicanas en Córdova (2001).

en diversas regiones y lenguajes, la creación de un directorio de distribuidores internacionales y el establecimiento de mecanismos formales de intercambio y divulgación.

- c) Directorios de proveedores de saneamiento seco, promotores, capacitadores y fuentes de financiamiento, internacionales y regionales.⁵

Como los esfuerzos por integrar el saneamiento seco en la corriente principal de agua y saneamiento continúan, es posible institucionalizar la recolección de información y los canales de diseminación (e.g. a través del Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud y otras publicaciones estadísticas nacionales e internacionales). A través de la sistematización de la información de base se podrán desarrollar herramientas conceptuales y de investigación, incluyendo acuerdos en las definiciones ('urbano', 'saneamiento sustentable', 'saneamiento ecológico'), instrumentos para estudios, protocolos de investigación, etc. Mientras más experiencias se estudien, se podrán refinar las herramientas conceptuales y de investigación.

II Coordinación de la investigación con la implementación del programa

- a) Las experiencias mexicanas estudiadas no se traslapaban lo suficiente para separar adecuadamente los efectos del modelo del sanitario, el establecimiento del programa y el nivel económico de la población como factores para el **éxito del programa**. Para evitar los efectos de dichos factores entremezclados, los nuevos programas de saneamiento seco deberán establecerse de forma que permitan comparaciones medibles entre las características poblacionales (ingreso, educación, región, país, grupo étnico, etc.); modelos de sanitarios (autosuficientes, con desviación de orina, etc.) modalidades de programa (métodos para atracción de usuarios, capacitación, servicios de apoyo, etc.) y sistemas de incentivos (económicos, sociales, directos, indirectos, etc.).
- b) Para comprender mejor las **preferencias, necesidades y satisfacción de los usuarios**, deben llevarse a cabo experimentos con diferentes tipos de programas de incentivos para usuarios (incluyendo combinaciones de mercadeo o estrategias para elevar el estatus, incentivos y disuasivos económicos, incentivos reguladores, etc.) Debe incluirse la evaluación de la satisfacción de manera rutinaria en la implementación de programas y/o monitorearse elementos de satisfacción en otros tipos de estudios de saneamiento seco (e.g. técnicos, microbiológicos, etc.). Los estudios longitudinales sobre lo que sucede en los lugares con saneamiento seco (con los programas, con los usuarios) después de 5, 10, 20 años también revelarán información importante.
- c) Para crear condiciones adecuadas de **apoyo institucional** para los programas de saneamiento seco, será importante: identificar las necesidades de información e incentivos para empresas, funcionarios públicos y comunidades; comprender cómo los factores contextuales (como actividades económicas locales, políticas de agua, relaciones institucionales) juegan un papel en la evolución de los programas de saneamiento seco e identificar cuáles modelos de sanitarios y sistemas de apoyo son mejor aceptados en diferentes culturas/regiones/niveles socio-económicos. Si los usuarios van a elegir el modelo de sanitario seco que desean instalar, será importante evaluar, tanto organizacional como técnicamente, cuántos modelos diferentes de sanitarios secos es factible atender y proporcionarles tratamiento secundario en una zona o con un sólo proveedor de servicios⁶, así como cuántos sistemas sanitarios (secos y de agua) son compatibles y su manejo es efectivo en un sólo lugar.
- d) En los casos mexicanos estudiados, el **manejo del producto final** generalmente quedaba fuera de los elementos del programa. Los aspectos técnicos y organizacionales del manejo del producto final pueden ser muy susceptibles de las condiciones locales, incluyendo el clima, los tipos disponibles de material para cubrir, los tipos de sistemas de procesamiento

⁵ Muchos sitios *Web* independientes y distribuidores incluyen este tipo de información.

⁶ Diferentes tamaños y formas de contenedores y diferentes calidades y características de productos finales pueden volver costoso y complejo un manejo colectivo.

de los sanitarios secos (deseccación, compostaje, biodigestión), la posibilidad de sistemas locales para tratamiento secundario, los tipos de suelo en donde el producto final va a aplicarse, los tipos de plantas o vegetación que van a cultivarse y aspectos organizacionales como la frecuencia, modalidad, etc. de un sistema de recolección (vaciado a cargo de un proveedor de servicios o de la familia). Estas condiciones pueden variar incluso dentro de una misma ciudad. En términos de políticas y de implementación de programas, quienes toman decisiones a nivel local deben estar conscientes de este número de factores y de la necesidad de comprender su viabilidad local, con el fin de tomar decisiones informadas. Con este fin, la investigación sobre el manejo del producto final debe cubrir un extenso rango de condiciones variantes y traducirlas en formatos (diagramas de flujo, matrices, etc.) y lenguajes que puedan comprender fácilmente quienes toman las decisiones a nivel local.

- e) Las conversaciones con funcionarios locales, desarrolladores de sanitarios secos y residentes urbanos revelaron necesidades de investigación y desarrollo sobre los **marcos legales**. Estas incluyen: identificar las reglamentaciones existentes para el saneamiento, lodos residuales y aguas grises en cada lugar⁷; identificar huecos, traslapes, consistencias e inconsistencias de cara al saneamiento seco; proponer reglamentaciones específicas para el saneamiento seco y considerar estrategias de requerimientos diferentes para diferentes categorías de zonas. También se consideró importante fortalecer y estandarizar criterios para un sistema de certificación (o criterios mínimos de funcionamiento) para el saneamiento seco⁸ y, donde el saneamiento seco no esté formalmente respaldado por un proveedor de servicios público o privado, desarrollar reglamentaciones que exijan a los distribuidores de sanitarios secos o a los ejecutores de programas que: apliquen pruebas piloto a su(s) modelo(s) en cada lugar (o en otro lugar que sea similar), considerando que las reglamentaciones no intentarían dificultar el saneamiento seco para usuarios, productores o promotores, sino que buscarían garantizar que los sanitarios secos en el mercado van a funcionar, así como prever fallas a gran escala y disputas por la tecnología. Las reglamentaciones sobre el plan de manejo del producto final pueden ser para asegurar la disponibilidad local y/o comercial del material para cubrir o texturizar y ofrecer apoyo técnico durante toda la vida del sanitario seco.⁹
- f) desarrollado colaborativamente, con la participación de usuarios, promotores, productores y funcionarios públicos¹⁰, y seguramente será diferente en los distintos lugares.

III. Intercambio sistemático de la información

Debido a que el campo del saneamiento seco no parece contar colectivamente con los fondos para establecer nuevos experimentos para aclarar todos los conocimientos faltantes que hasta ahora se han identificado, y ya que es muy improbable que cada lugar por separado sea capaz de llevar a cabo investigaciones a profundidad sobre cada aspecto del saneamiento seco (implementación del programa, diseño técnico, análisis económico, estudios epidemiológicos, etc.), la comparación cruzada entre una diversidad de programas y lugares bien definidos ofrece un medio alternativo y complementario para la generación de conocimientos y el

⁷ encontrados en códigos sobre residuos sólidos, protección ambiental, salud pública, desarrollo urbano y/o zonificación y urbanización.

⁸ Podrían incluir especificaciones técnicas, entrenamiento necesario para el usuario (e.g. en el estado de Washington, EUA, se consideró permitir sanitarios secos si los usuarios tomaban un curso de 2-3 días sobre el funcionamiento del sanitario y mantenimiento seco (Holm, 2000)), especificaciones mínimas para el material para cubrir las heces, intensidad de uso del sanitario seco, criterios de eliminación y reuso del producto final y requerimientos para tratamiento secundario (en su caso) para cada modelo o sistema de sanitario seco.

⁹ Esto puede incluir inversiones para un fondo revolvente y/o la capacitación de técnicos locales en caso de que la compañía deje de funcionar. Esta reglamentación sería innecesaria una vez que los sanitarios secos sean suficientemente comunes para que exista una masa crítica de proveedores de sanitarios secos en cada ciudad (como existen talleres mecánicos para automóviles).

¹⁰ Un ejemplo de tal desarrollo colaborativo de reglamentaciones es el USEPA, un organismo regulador negociado para el desarrollo de reglamentaciones que afectan la industria.

mejoramiento de nuestra capacidad para influir en el éxito del programa. Dicha investigación cruzada requerirá comunicación efectiva y mecanismos de coordinación entre los lugares. Esto puede apoyarse a través de canales de intercambio formales y sistematizados que aseguren mecanismos para alcanzar a todos los actores involucrados, desde organismos internacionales hasta individuos y comunidades¹¹.

Enfoques que se sugieren para la implementación de las recomendaciones

Debido a que la agenda para investigaciones es muy ambiciosa, el campo está en un rápido desarrollo y la efectividad de las recomendaciones sólo puede ser evaluada en la práctica, proponemos que la manera más efectiva para llevar a cabo el desarrollo del saneamiento seco sea a través de la investigación y la acción paralelas, donde una diversidad de actores sociales colaboren en el diseño, evaluación y ejecución de las acciones; donde los resultados sean comunicados al interior y entre los programas y donde la planificación y la gestión sean adaptativas. Con este fin sugerimos una combinación de enfoques complementarios, la cual ofrece maneras productivas de alcanzar las recomendaciones hasta ahora planteadas (Figura 3). Estos enfoques se derivan de experiencias en diversos campos y disciplinas bien desarrolladas que se describen brevemente a continuación.

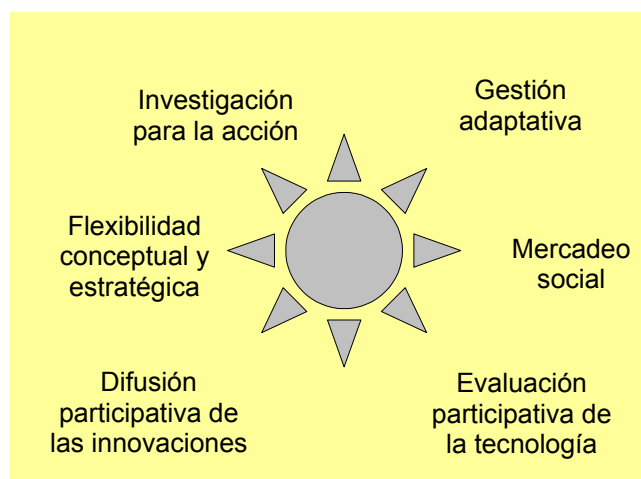


Figura 3: Seis enfoques complementarios para facilitar el desarrollo del saneamiento seco

La **Investigación para la acción (IA)** hace énfasis en la reflexión iterada y la acción (investigación e implementación) entre socios colaboradores, con la intención de un cambio local significativo (Greenwood y Levin, 1998). La IA puede ser útil en el desarrollo del saneamiento seco ya que nos permite hacer investigación *mientras implementamos programas e incorporar inmediatamente los resultados* de la investigación a los programas conforme se van desarrollando. La conversión oportuna de los resultados de la investigación en acción se hace posible en gran medida debido a la participación de los actores locales en el establecimiento de las metas de investigación y del programa. La **Gestión Adaptativa (GA)** surgió del

campo de la gestión de recursos naturales como un enfoque para trabajar más efectivamente en el contexto de sistemas ecológicos complejos, dinámicos, heterogéneos y variables¹². La GA ve a la gestión siempre apuntando a un objetivo en movimiento, con la conciencia de que el conocimiento siempre es incompleto y que el sistema está en constante evolución (Light, 2001). Propone que los programas y políticas no son productos finales de una sola vez, sino más bien experimentos de los cuales podemos aprender y a partir de los cuales podemos hacer ajustes. La GA en la implementación del saneamiento seco incrementaría la capacidad de respuesta de los programas frente a los contextos cambiantes, a través de todas las etapas del programa descritas anteriormente.

¹¹ E.g. publicaciones periódicas, conferencias y reuniones internacionales para ciertos grupos de actores; cursos de capacitación y viajes de estudio para otros; actividades comunitarias y difusión de simples hojas de información para individuos; currículo académico en diversas disciplinas (ingeniería, arquitectura, urbanismo, salud pública, agricultura, etc.), etc.

¹² El saneamiento es tanto un fenómeno social como natural o tecnológico y está influenciado por muchos sistemas sociales e institucionales complejos, dinámicos, heterogéneos y variables.

Muchos investigadores y profesionales del saneamiento seco han propuesto el **Mercadeo Social** para el saneamiento seco (Wegelin-Schuringa, 2000; Winblad, 2000; Breslin, 2002). Los principios particularmente relevantes son: a) *enfoque en el público a quien va dirigido el programa*, sus necesidades, percepciones y factores que lo motivan (privacidad, estatus, consideraciones económicas, higiene, valores ambientales, etc.); *públicos segmentados* o el entendimiento de que las poblaciones no son homogéneas sino que tienen percepciones diversas y requieren distintos tipos de incentivos¹³ y c) *sostener la demanda* una vez que se ha creado; lo cual se deriva de un claro entendimiento del “mercado” (conductas competitivas, obstáculos para colocar el producto, etc.) y hace que el monitoreo, la evaluación y la adaptación oportuna de estrategias sean elementos esenciales del programa¹⁴.

Las experiencias escandinavas en **Evaluación Participativa de la Tecnología** y en **Difusión Participativa de las Innovaciones** a gran escala y con apoyo externo, pueden también ofrecer conocimientos y herramientas de los cuales el saneamiento ecológico se beneficie. El Consejo Danés de Tecnología, basado en el entendimiento de que la sociedad y la tecnología se interrelacionan y enmarcan mutuamente, ha buscado tender puentes entre ciudadanos, expertos y políticos para la evaluación de tecnologías y la comunicación de dichas evaluaciones (www.tekno.dk). Desde 1998, el consejo ha implementado exitosamente una variedad de herramientas participativas para la evaluación de nuevas tecnología incluyendo Talleres de Perspectiva, Búsquedas Futuras, Talleres de Escenarios y Conferencias de Consenso (www.tekno.dk). Esta enriquecida reflexión puede utilizarse en los procesos de selección de sistemas de saneamiento en ciudades o vecindarios, o para el análisis /introducción de alternativas de saneamiento poco conocidas por el público en diversas sociedades.

El Fondo para la Vida Trabajadora de Suecia financiado por el estado facilitó un proceso de difusión de innovaciones en desarrollo organizacional industrial entre 1990 y 1995 (Gustavsen, Hofmaier *et al.*, 1996). El Fondo adoptó el papel de consejero, socio de discusión y generador de ideas, y también proporcionó los fondos para que las empresas se comprometieran en los procesos de cambio organizacional. También permitió intercambios directos entre los participantes. Un modelo así, que financie y facilite el cambio en el campo del saneamiento ecológico, podría servir como medio para formalizar la estructura de apoyo para intercambios que ya están teniendo lugar entre programas en diferentes lugares y para promover un mayor entendimiento del saneamiento ambiental (incluyendo los principios de Bellagio) entre los profesionales del sector del agua y los encargados de tomar decisiones en los gobiernos locales.

Por último creemos, junto con otros investigadores del saneamiento seco (e.g. Harper y Halestrap, 1999; Breslin, 2002), que la **flexibilidad conceptual** será benéfica para la promoción del saneamiento seco: alejándose de las soluciones universales de “una talla para todos” y manteniendo la conciencia de que las opciones intermedias¹⁵ son valiosas. En muchos contextos, las opciones intermedias pueden alcanzar significativos ahorros de agua o retención de nutrientes, los cuales pueden mitigar fuertemente el impacto del saneamiento. Si tales opciones incrementan la adopción por parte de los usuarios, pueden ser más efectivas que la implementación de una solución de saneamiento seco “puro” que sólo unos pocos usuarios acepten. A través del proceso de investigación y desarrollo, el saneamiento seco tendría que compararse continuamente con otras opciones de saneamiento dentro de una estructura que considere las implicaciones ambientales, económicas y sociales de cada una.

¹³ Esto es particularmente importante en escalas incrementadas de operación de saneamiento ecológico.

¹⁴ en lugar de “agregados” no atendidos que los programas no tienen tiempo ni dinero para llevar a cabo

¹⁵ Opciones intermedias incluyen posibilidades como: a) desviación de orina en sistemas convencionales y b) sanitarios secos como sanitarios complementarios en hogares que también tengan saneamiento convencional. En nuestro estudio encontramos que varios hogares quisieran tener un sanitario seco como opción complementaria. Incluso si sólo algunos residentes en la vivienda utilizaran el sanitario seco o si fuera utilizado sólo para orinar o sólo para defecar, se lograrían ahorros en el consumo de agua y retención de nutrientes. Esta introducción por fases también permitiría a los usuarios ir evaluando gradualmente la tecnología, sin tener que arriesgarse en una situación de todo o nada.

Conclusiones

El saneamiento seco urbano moderno, a gran escala, está todavía en la infancia y muestra señales muy prometedoras. Con base en nuestra investigación sobre las experiencias mexicanas hemos propuesto un conjunto de recomendaciones para políticas y para investigaciones con el fin de fortalecer y continuar desarrollando la implementación urbana del saneamiento seco. Para saber si el saneamiento seco puede o no alcanzar su potencial habrá que ponerlo en práctica y a prueba en una variedad de circunstancias. La complejidad natural y social de los sistemas de saneamiento demanda la adopción de enfoques que compartan la preocupación por la reflexión y la acción iterativas; un enfoque en el público objetivo; la participación de todos los actores involucrados y la integración del aprendizaje institucional y la capacidad de adaptación en las políticas y los programas. La conciencia de estos enfoques y herramientas y la voluntad de implementar opciones intermedias (tanto en tecnologías de saneamiento como en enfoques estratégicos) muy probablemente beneficiará el desarrollo del campo del saneamiento seco y la ejecución de las recomendaciones de esta investigación.

Referencias

- Breslin, E. D. (2002) Introducing ecological sanitation: some lessons from a small town pilot project in Mozambique (Introducción al saneamiento ecológico: algunas lecciones de un proyecto piloto en una ciudad pequeña en Mozambique). *Water Science and Technology* 45(8): 217-224.
- Córdova, A. (2001) Large-Scale Dry Sanitation Programs. Preliminary Observations and Recommendations from Urban Experiences in Mexico (Programas de saneamiento a gran escala. Observaciones preliminares y recomendaciones de experiencias urbanas en México). Ithaca, NY. Departamento de Recursos Naturales. Universidad Cornell. www.dnr.cornell.edu/hdru/PUBS/HDRURreport01-6.pdf
- Córdova, A. (2003) Factors Affecting the Viability of Large Scale and Urban Dry Sanitation Programs: An Assessment Based on Mexican Experiences (Factores que afectan la viabilidad urbana a gran escala de programas de saneamiento seco: una evaluación basada en experiencias mexicanas). Tesis doctoral, Departamento de Recursos Naturales, Ithaca, NY. EUA, Universidad Cornell: 296.
- Esrey, S. A. (2002) Philosophical, ecological and technical challenges for expanding ecological sanitation into urban areas (Retos filosóficos, ecológicos y técnicos para expandir el saneamiento ecológico en zonas urbanas). *Water Science and Technology* 45(8): 225-228.
- Mensaje final de la conferencia de Nanning (2001). Primera conferencia internacional sobre saneamiento ecológico, Nanning, China.
- Greenwood, D. y M. Levin (1998) Introduction to Action Research: Social Research for Social Change (Introducción a la investigación para la acción: investigación social para un cambio social). Thousand Oaks, CA, Sage Publications.
- Gustavsen, B., B. Hofmaier, M.E. Philips y A. Wikman (1996) Concept-driven Development and the Organization of the Process of Change. An evaluation of the Swedish Working Life Fund (Desarrollo a partir de conceptos y organización del proceso de cambio. Una evaluación del Fondo de la Vida Trabajadora de Suecia). Filadelfia, John Benjamins Publishing Company.
- Harper, P. y L. Halestrap (1999) Lifting the Lid. An ecological approach to toilet systems (Levantando la tapa. Un enfoque ecológico de los sistemas sanitarios). Machynlleth, Reino Unido, Center for Alternative Technology.
- Holm, P. (2000) Personal Communication (Comunicación personal). Green Frog Cooperative. Olympia, WA. EUA.
- Holmberg, J. (1998) Foreword. in *Ecological Sanitation* (Prefacio sobre el saneamiento ecológico). S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport *et al.* Estocolmo, Agencia sueca de cooperación internacional para el desarrollo: 92.

- Lee, K. N. (1993) *Compass and Gyroscope. Integrating Science and Politics for the Environment* (Brújula y giroscopio. integración de la ciencia y la política para el medio ambiente). Washington, D.C., Island Press.
- Light, S. S. (2001) *Adaptive Ecosystem Assessment and Management: The Path of Last Resort? A Guidebook for Integrated Ecological Assessments* (Análisis y gestión adaptativa de ecosistemas: ¿el camino del último recurso? Una guía para el análisis ecológico integral). M. E. Jensen and P. S. Bourgeron. Nueva York, Springer-Verlag: 55-68.
- Wegelin-Schuringa, M. (2000) *Public Awareness and Mobilization for Ecosanitation* (Conciencia pública y movilización hacia el ecosaneamiento). Simposio internacional sobre saneamiento ecológico. Cerrando el ciclo en la gestión de aguas residuales y el saneamiento, Bonn, Alemania, GTZ
- Winblad, U. (2000) *Development of ECO-San Systems* (Desarrollo de sistemas ecosan). Simposio internacional sobre saneamiento ecológico. Cerrando el ciclo en la gestión de aguas residuales y el saneamiento, Bonn, Alemania, GTZ.

Un modelo innovador de saneamiento marca el camino hacia el desarrollo urbano sustentable. Experiencias del proyecto modelo “Wohnen & Arbeiten” en Freiburg, Alemania

**Arne Panesar
Jörg Lange**

ATURUS
Walter-Gropius Str. 22, 79100 Freiburg, Alemania
e-mail: panesar@vauban.de
e-mail: lange@vauban.de

Palabras clave

Estudio de caso, biogás, sanitarios de vacío, filtro de membrana, participación

Resumen

En Vauban, un suburbio de Freiburg, Alemania, un nuevo modelo de vivienda construido en 1999 combina conceptos innovadores de energía, residuos y saneamiento dentro de un ambiente social confortable.

Marco social, legal y financiero del proyecto “Wohnen & Arbeiten”



Figura 1: La unidad habitacional modelo “Wohnen & Arbeiten”

La situación especial en el distrito de Freiburg Vauban es que los ciudadanos son incitados a formar grupos para solicitar predios de tierra en el nuevo distrito. La asociación “Forum-Vauban e.V., Freiburg” [<http://www.forum-vauban.de/>], fundada por los ciudadanos de Freiburg, es el organismo legal para la participación ciudadana. Ha tenido éxito con su concepto de dar tierra en el distrito de Vauban a grupos de ciudadanos con una prioridad clara, en tanto que sólo una pequeña parte de la tierra se va a dar a constructores de edificios convencionales.

El grupo “Wohnen & Arbeiten” es uno entre aproximadamente 30

de estos grupos de ciudadanos que han desarrollado viviendas de acuerdo a sus deseos e ideas [<http://www.vauban.de/wa>].

Con el fin de desarrollar un concepto innovador de energía y saneamiento para “Wohnen & Arbeiten”, se tuvo que formar una asociación capaz de cooperar con socios investigadores. Por lo tanto fue fundada la “Ökobauverein e.V., Freiburg” (Asociación para edificios sustentables)

[<http://www.vauban.de/oekobau.html>]. Esta asociación es capaz de solicitar fondos y manejar el aspecto financiero así como de poner en marcha la fase experimental del proyecto. Todos los futuros residentes de la unidad habitacional modelo se hicieron miembros de la "Ökobauverein" y firmaron un contrato donde se comprometen a cooperar con los proyectos de investigación.

Los fondos para el desarrollo y la implementación del modelo innovador de energía fueron asignados por el DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). "Wohnen & Arbeiten" implementó este proyecto conjuntamente con el Fraunhofer ISE, Freiburg.

Los fondos para el desarrollo e implementación de este innovador modelo de saneamiento (planta de vacío, planta de biogás, filtro de agua) se asignaron por el DBU, el Fraunhofer ISE en Karlsruhe, y TBW GmbH en Frankfurt. TBW y el Instituto Fraunhofer implementaron el proyecto conjuntamente con Ökobauverein e.V., Freiburg. Se subcontrató a la compañía Roediger, en Hanau, para la construcción y mantenimiento del sistema de vacío. Los tanques de biogás los desarrolló y construyó Mall-Umweltsysteme quienes también financiaron partes de los filtros de aguas grises.

Datos generales:	
viviendas y superficie efectiva	1,500 m ² (16,250 ft ²)
número de apartamentos	20 (incl. 4 oficinas)
número de residentes	40 (incl. 10 niños(as))
planta de co-generación:	
producción de energía eléctrica	5.5 kWh
producción de energía para calefacción	14.5 kWh
Energía solar:	
mecanismo fotovoltaico	3 kWp*
Instalación térmica solar	15 kWp* (45 m ² = 475 ft ²)
Ventanas con triple vidrio:	
valor-k(ó u)**	0.7
valor-g***	0.6
Consumo de energía:	
consumo de energía para calefacción por m ² y año	13.2 kWh/m ² a (= 1.4 kWh/ft ² *a)
consumo total de energía para calefacción	20,700 kWh/a
consumo total de energía para agua caliente	23,500 kWh/a

* = punto máximo de kilo watts ** = pérdida de calor *** = pérdida de luz

Tabla 1: Datos técnicos y generales de la unidad habitacional solar-pasiva "Wohnen & Arbeiten"

Manejo de energía sustentable

Gracias al modelo de energía los residentes necesitan solo 20% de la energía primaria (electricidad y calefacción) que se utiliza en unidades habitacionales convencionales. Todo el ahorro de energía está controlado estrictamente por la relación costo-eficiencia. Los costos son sólo al rededor de 7% más altos que en unidades habitacionales convencionales y se amortizan en 10 a 20 años, lo cual hace que la casa sea accesible económicamente para los ciudadanos alemanes promedio.

En el verano, el consumo de agua caliente es abastecido 100% por una instalación térmica solar; en invierno se suplementa con una pequeña planta de co-generación que utiliza gas natural.

Sesenta por ciento de la electricidad se suministra por la planta co-generadora (50%) y un mecanismo fotovoltaico (10%). Un óptimo aislamiento, la utilización de energía solar pasiva y activa, las ventanas con triple vidrio y la reducción de 80% de pérdida por calor de aireación ahorran 85% de la energía para calefacción durante el año, comparado con unidades habitacionales convencionales (Fraunhofer ISE, Gruppe Solares Bauen 2001).

Manejo sustentable del agua

Se proyectó un sistema de saneamiento combinado de vacío para la unidad habitacional modelo. La idea de este concepto de saneamiento es que los residuos biológicos, heces y orina (las llamadas “aguas negras”), son transportados desde los sanitarios de vacío con bajo consumo de agua a un reactor de biogás por tuberías de vacío. El reactor produce fertilizante líquido al igual que biogás para consumo en la cocina. Después de limpiarse en un filtro para aguas grises, las aguas residuales restantes de cocinas y duchas (aguas grises) se vuelven a utilizar como agua de descarga para los sanitarios de vacío y para regar los jardines. El agua de lluvia fluye a través de canales abiertos y se recolecta en dos zanjas. Estas dos zanjas se conectan con los acuíferos por medio de una capa de grava, de modo que el agua de lluvia es filtrada antes de llegar a los acuíferos.

Algunos datos y experiencias para el desarrollo del ‘módulo de biogás y biofertilizante’ se obtuvieron con la ayuda de una planta piloto. Esta planta experimental de biogás se operó durante seis meses como parte de los preparativos del proyecto “Solar-Siedlung, Freiburg Vauban” (Barrio solar en Vauban, Freiburg) (Lange 1997, Müller 1997)

En un análisis detallado (Schneidmadl *et al.* 1999) se compararon la gestión convencional y la gestión sustentable del agua y se estiman las siguientes reducciones en el consumo de agua y en las emisiones al agua:

- el consumo de agua se reduce aproximadamente 50%
- las emisiones de carbono aproximadamente 70%
- las emisiones de nitrógeno aproximadamente 90%
- las emisiones de fósforo aproximadamente 60%
- emisiones de AOX (halógenos orgánicos absorbibles) aproximadamente 48%, respectivamente y
- emisiones de cobre 47%

El tratamiento separado de aguas grises y negras y el reciclaje de nutrientes en la agricultura podría ser una solución energéticamente eficiente y de largo plazo para la gestión del agua.

El consumo de energía primaria del concepto innovador de saneamiento en la unidad habitacional “Wohnen & Arbeiten” se analizó y comparó con la situación en Lübeck Flintenbreite y en unidades habitacionales convencionales (Peters 2002).

Experiencias adquiridas en el proyecto "Wohnen & Arbeiten"

A continuación se presentan las experiencias adquiridas durante tres años con el sistema de vacío y los filtros de aguas grises, al igual que cierta información sobre la planta de biogás.

El filtro de aguas grises

El filtro de aguas grises se implementó en 1999 en la forma de un filtro de arena aireado y se monitoreó su desempeño (Steeger-Ballbach 2001). Debido a problemas técnicos, este filtro se

reemplazó por un filtro modular de membrana (Ultra-Sept-Pendelmodul) proporcionado y co-financiado por la compañía Mall-Umweltsysteme (Donaueschingen, Alemania).

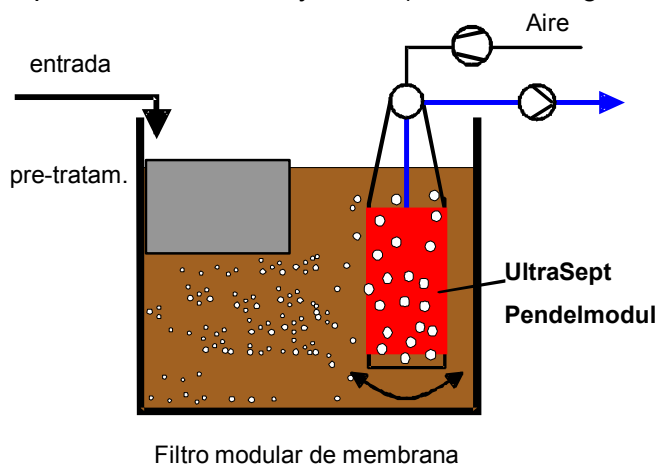


Figura 2: El filtro UltraSept Pendelmodul

El sistema de vacío

El sistema de vacío ha estado en funcionamiento desde 1999 prácticamente sin problemas técnicos. La aceptación de los sanitarios de vacío entre los residentes es muy buena. En la etapa inicial del proyecto, los residentes creyeron que el extraño ruido que producen los sanitarios de vacío sería un problema, pero a la larga esto no resultó ser un problema en absoluto.

**Consumo de agua en "Wohnen & Arbeiten"
(7.-19.12.2000)**

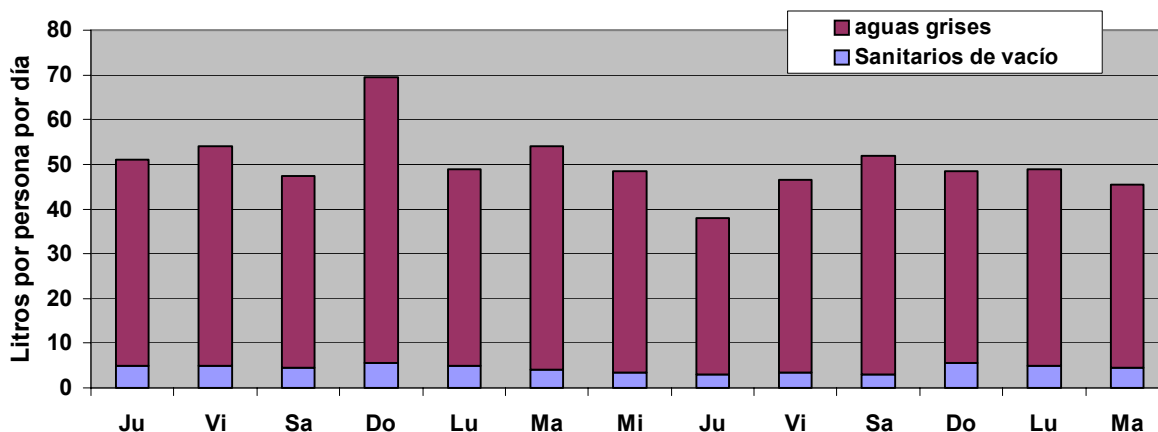


Figura 3: Consumo diario de agua en la unidad habitacional modelo "Wohnen & Arbeiten"

La compañía ROEDIGER (Hanau, Alemania) da mantenimiento al sistema de vacío. Reduce la cantidad de aguas negras producidas por una persona al día a aproximadamente 6 litros – lo cual es una reducción de 80% si se compara con la vivienda alemana promedio.

Sesión I



Figura 4: Estación de bombeo de vacío (izquierda) y sanitario de vacío de la unidad habitacional modelo

El módulo de biogás y biofertilizante

La primera planta de biogás para un edificio de apartamentos en Alemania consiste en un digestor de concreto para tratar aguas negras y residuos orgánicos domésticos, un post-tratamiento con una bolsa de plástico interna para almacenar el gas y un tanque de almacenamiento para el fertilizante.

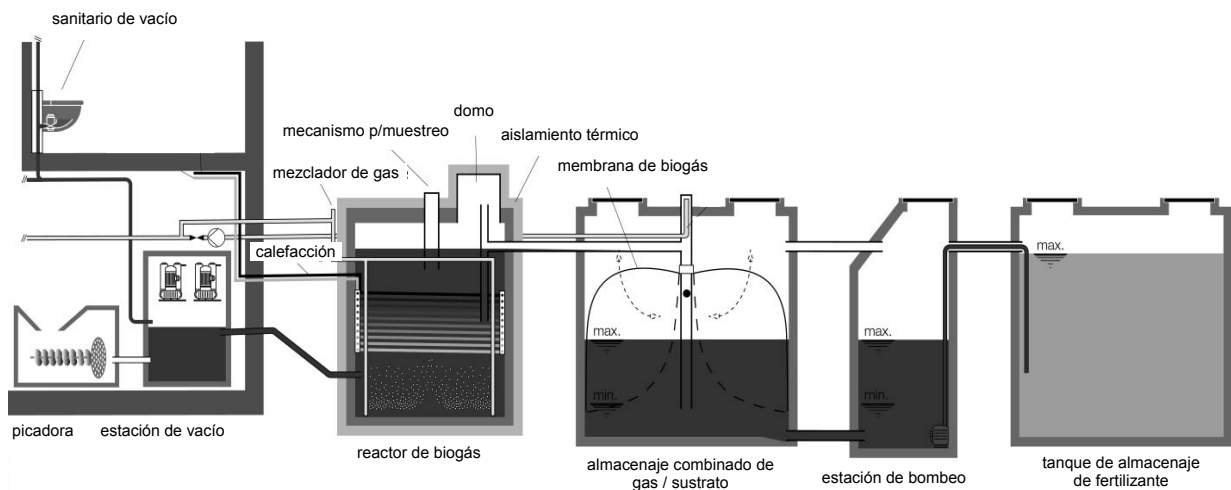


Figura 5: El módulo de biogás y biofertilizante proyectado para “Wohnen & Arbeiten” en Freiburg, Alemania

La planta de biogás está conectada al sistema interno de gas de la casa; proporcionará gas para cocinar en 16 viviendas. La planta está casi lista – sólo falta la regulación automática de la

presión del gas y el mecanismo de alimentación para los residuos orgánicos domésticos necesita modificaciones y ajustes.

La siguiente tabla resume la información general y técnica del modelo de saneamiento instalado en la unidad habitacional modelo "Wohnen & Arbeiten" en Freiburg Vauban, Alemania.

Número de residentes	40 (incl. 10 niños(as))
Sistema de vacío	
número de sanitarios de vacío	25
cantidad de agua necesaria en cada descarga	1 l
cantidad de aire utilizado en cada descarga	20-40l
Módulo de biogás y biofertilizante:	
Reactor de biogás	6 m ³
Tanque 1 de almacenamiento del biofertilizante	3 m ³
Tanque 2 de almacenamiento del biofertilizante	14 m ³
Tanque de almacenamiento de biogás	9 m ³
Producción de biogás (anticipado)	2-3 m ³ /d
Entrada de aguas negras al día (anticipada)	0.24 m ³ /d
Entrada de residuos orgánicos al día (anticipada)	0.02 m ³ /d
Producción de biofertilizante al día (anticipada)	0.26 m ³ /d
Filtro de membrana para aguas grises:	
entrada de aguas grises al día	2 m ³ /d
superficie de la membrana	16 m ² (Mall Ultrasept)
tratamiento primario	1 m ³ (Mall Ultrasept)
tratamiento secundario	4.5 m ³ (Mall Ultrasept)
energía para la bomba de aireación	500 W
Producción de aguas negras reducidas en:	80%
producción de aguas negras (vivienda alemana promedio)	35 l/d***
producción de aguas negras (unidad habitacional modelo "Wohnen & Arbeiten")	6 l/d

*** = Datos de: "Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, KA 12/97"

Tabla 2: Datos técnicos y generales del modelo de saneamiento en "Wohnen & Arbeiten"

Referencias

- Fraunhofer ISE, Gruppe Solares Bauen (2001): Solar-Passivhaus „Wohnen & Arbeiten“ Freiburg-Vauban, Schlussbericht. Osnabrück, Fraunhofer ISE TOS-1-0103-VK-02, Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt Förderkennzeichen 49007.
- Lange, Jörg (1997): Alternative Lösungsansätze der Abwasserentsorgung in: Tagungsband der 11. Karlsruher Flockungstage 1997; Schriftenreihe des ISWW Karlsruhe Bd. 89: 33-47
- Müller, Carsten (1997): Cofermentation von Urin und Fäkalien aus Vakuumtoiletten mit Essensresten. Diplomarbeit im Labor für anaerobe Verfahrenstechnik, FH Giessen-Friedberg. (81 p.)
- Peters, Christian (2002): Technischer und wirtschaftlicher Vergleich innovativer Abwasser- und Energiekonzepte am Beispiel Lübeck Flintenbreite und Freiburg-Vauban, Diplomarbeit an der Technischen Universität Hamburg Harburg (95 p.)

- Schneidmadl, Joachim (1999): Ökologischer Vergleich von Abwassersystemen, Diplomarbeit an der Uni Karlsruhe (73 p.)
- Schneidmadl, J., Th. Hillenbrand, E. Böhm & J. Lange (1999): Vergleich der Stoffflüsse von Abwasserkonzepten mit und ohne Teilstrombehandlung. *Wasser & Boden* 51/11:14-20.
- Sperling, Carsten Forum Vauban & Öko-Institut [Hrsg.] (1999): Nachhaltige Stadtentwicklung beginnt im Quartier. Ein Praxis- und Ideenhandbuch für Stadtplaner, Baugemeinschaften, Bürgerinitiativen am Beispiel des sozial-ökologischen Modellstadtteils Freiburg-Vauban, u.a. S. 374ff.
- Steeger-Ballbach, Marc (2001): Untersuchung einer Anlage zur Grauwasseraufbereitung im Rahmen eines ökologischen Sanitärkonzeptes. Diplomarbeit an der Uni Karlsruhe (75 p.)

Saneamiento ecológico seco o con agua en zonas periurbanas

Bjorn Brandberg

SBI Consulting &Supplies (PTY) Ltd
P.O. Box 131 Eveni, Mbabane, Suiza
e-mail: bjorn@brandberg.org

Palabras clave

África, saneamiento ecológico, Saneamiento periurbano, promoción, alternativas a base de agua

Resumen

Sin duda la solución de “hacer y olvidarse” es la preferida por la mayoría de las personas. La motivación se reduce por falta de espacio o talento para la agricultura urbana. En muchos escenarios periurbanos se prefieren las soluciones municipales por encima de las individuales.

Este documento presenta tres casos periurbanos en África donde el saneamiento a base de agua parece ser el enfoque más realista hacia un saneamiento ecológico. El autor cuestiona la regla de la “no mezcla” como un principio sagrado del saneamiento ecológico ya que el sector puede tornarse insensible a las necesidades percibidas, la facilidad de uso y la demanda.

Si se excluye el saneamiento a base de agua como alternativa para los enfoques secos de “no mezcla” puede llevar a un proceso lento, donde la solución convencional a base de agua se vuelva la alternativa preferida, sin ningún beneficio ecológico.



Figura 1: El saneamiento ecológico seco puede hacerse cómodo y con aspecto urbano, pero pueden haber problemas de vaciado y recolección y de gérmenes que perduren.

Introducción

¿Cuál es el valor promocional del WC?

Con el fin de proteger los acuíferos y reducir el consumo del agua, hemos optado por saneamiento seco. Para el saneamiento ecológico, el enfoque de “no mezcla” se ha convertido en una regla de oro. Después de evaluar tecnologías alternativas de saneamiento en zonas de bajos ingresos en Luanda (Angola), el autor se pregunta si el saneamiento seco es la solución adecuada. El saneamiento a base de agua puede en ocasiones ser la solución que proteja el ambiente. Conclusiones similares pueden surgir de la situación en otras ciudades como Antananarivo (Madagascar) y Nampula (Mozambique).

Los resultados en este documento están basados en discusiones, observaciones y experiencias. Durante los últimos 25 años el autor ha tenido la oportunidad de visitar unos 20 países en desarrollo como consultor de saneamiento. Hay una clara tendencia a ser más y más sensible a la demanda y a la participación del consumidor.

Tres estudios de caso

Se eligieron tres ciudades como ejemplo en donde el saneamiento a base de agua podría ser un enfoque necesario para alcanzar un desarrollo sustentable del saneamiento.



Figura 2: El espacio es un problema común en muchos asentamientos de bajos ingresos.

Luanda

Luanda es la capital de Angola y tiene aproximadamente 5 millones de personas; se ubica en la costa del Océano Atlántico. La ciudad se caracteriza por altos edificios en el centro, que se han deteriorado durante tres décadas de guerra civil, dificultades financieras y mala administración, rodeados por casas de 1-2 pisos bien construidas y bien cuidadas, rodeadas de verdes árboles y zonas de barrios pobres densamente poblados de la época de la colonia donde no puede verse ni una sola hoja verde. La periferia de la ciudad, donde vive la mayoría de la población, se caracteriza por simples casas de cemento sin repellar, charcos malolientes o polvo (dependiendo de la temporada), y cerros de basura.

Debido a una larga y violenta guerra civil, Luanda ha tenido un crecimiento urbano sustancial por la migración de gente rural que huía de la guerra y los campos minados. Se prevé que el crecimiento poblacional se va a desacelerar, pero que la gran mayoría de los nuevos habitantes se van a quedar, ya que se han adaptado a la vida urbana.

Prácticas existentes

La gran mayoría de la población en Luanda defeca en lugares ocultos y “campos de defecación”. El saneamiento convencional a base de agua por medio de una red de drenaje o de fosas sépticas se introdujo en Angola por los portugueses antes de la independencia. Los portugueses también introdujeron el sanitario simplificado de arrastre de agua con pozo de absorción “*pia com posso roto*” como una solución para la población indígena. La recolección de la basura es un grave problema empeorado por el hecho de que la materia fecal se deposita en la basura.

Introducción del saneamiento seco

El abasto de agua es un serio problema en Luanda ya que el manto freático es bajo y la calidad de los acuíferos generalmente no es satisfactoria. El sistema de agua entubada data de la época de la colonia y pierde agua “como regadera”. Una empresa grande ha desarrollado la venta de agua superficial semi-tratada, la cual es transportada en camiones cisterna a los consumidores en toda la ciudad. Las familias gastan comúnmente hasta 50% de sus ingresos en efectivo en agua. A pesar de esto, las letrinas de agua se prefieren por sobre las secas.



Figura 3: Las letrinas secas de Luanda se han convertido para utilizar agua para arrastre y están impresionantemente limpias



Figura 4: Un tubo corto conecta la letrina a una fosa exterior, la cual posteriormente puede conectarse a una red de drenaje de bajo diámetro.

Por 15 años el gobierno angolés y algunas ONGs han luchado para romper la tendencia del saneamiento con arrastre de agua en zonas periurbanas. Durante 15 años la gente ha reconstruido las letrinas secas que les otorgan para poder utilizar agua para descarga, esto a pesar de que el suministro de agua en Luanda es desastroso y que el agua llega en camiones a las zonas periurbanas y se vende a precios que llegan hasta 50% del ingreso en efectivo de las familias.

La resistencia a las letrinas secas se entiende mejor cuando se observan las letrinas secas que se otorgaron sin costo por el gobierno y ONGs. 90% de las letrinas han sido convertidas para utilizar agua para arrastre. Las razones mencionadas son:

1. Los demás no pueden ver la materia fecal
2. Huele menos

3. Menos moscas
4. Mayor durabilidad
5. Mayor estatus (las letrinas secas son “rurales”)

Soluciones alternativas

Dado que existe una resistencia masiva en contra de las letrinas secas, principalmente por como se ven y por un problema de estatus, se han discutido soluciones alternativas. Los sanitarios secos ecosan con desviación de orina son una de estas opciones. Se percibe que, por un asunto de estatus, una opción que imite el WC convencional será la más fuerte. En muchas zonas el problema del espacio para reemplazar letrinas y los caminos de acceso para vehículos de vaciado demandan soluciones permanentes. Las soluciones a base de agua no pueden entonces ser excluidas de la discusión.

Dada la necesidad de soluciones permanentes y que la gente tiene gran resistencia a manejar, e incluso a ver, materia fecal, una solución puede ser conectar las letrinas convertidas al agua a sistemas de drenaje de bajo diámetro, donde la antigua fosa de la letrina o pozo de absorción se convierte en un tanque de retención y el vaciado se hace agitando las aguas residuales para que el sedimento se convierta en sólidos suspendidos que viajen con las aguas residuales a plantas ecológicas de tratamiento donde se recupere su valor fértil para composta, producción de biogás y alimento, que a la larga pueda abastecer a la ciudad.

Antananarivo

Antananarivo es una ciudad naturalmente ecológica. Es la capital de la gran isla de Madagascar y tiene aproximadamente un millón de habitantes. La presencia de agua y campos de arroz es una de las características de la ciudad. El suministro de agua no es problema. Después de más de 40 años de independencia, la ciudad prácticamente se ve igual que en la época de la colonia. Incluso el centro de la ciudad se caracteriza por edificaciones bajas hechas con tabiques de la localidad. Tabiques de barro cocido son el más común (y barato) material de construcción.

Discusión de alternativas

Durante un seminario de saneamiento en Antananarivo el año pasado se discutieron un número de opciones de saneamiento. El sanitario ecológico seco con desviación de orina recibió especial atención. La pregunta clave sin embargo fue: ¿Lo necesitamos? ¿Qué ofrece a Antananarivo más allá de la novedad de una solución moderna? Es barato. Parece un WC, pero no lo es.

Acuíferos naturalmente fertilizados y producción de arroz en pantanales urbanos

La ciudad está atravesada por varios cauces de agua y pantanales que han sido explorados hasta el último metro. El agua es un recurso abundante y, en gran medida, la gente utiliza sanitarios de arrastre de agua con fosas sépticas o pozos de absorción. Los acuíferos se fertilizan con los residuos humanos en descomposición y se filtran en la tierra antes de llegar a los campos de arroz que alimentan a la ciudad. La paja del arroz se utiliza como bio-combustible para cocinar tabiques de barro y tejas para los techos. El barro local cocinado con fuego de la paja del arroz es el principal material de construcción de la ciudad.

El ciclo ecológico ya está cerrado

En Antananarivo el ciclo ecológico ya ha sido cerrado y la introducción del sanitario seco ecosan con desviación de orina podría traer consigo más problemas que beneficios. Dejar que los residuos humanos se disuelvan en el agua y se filtren en la tierra hasta los campos de arroz es una solución que ha alimentado a la ciudad desde sus inicios.

Nampula

Nampula es una ciudad militar en el centro de Mozambique con una población de al rededor de medio millón de personas. Es la tercera ciudad más grande en el país. La población es predominantemente musulmana y el uso de agua para la limpieza anal es generalizado en las zonas periurbanas. Las letrinas son problemáticas debido a la pobre estabilidad del suelo, la religión y las tradiciones.

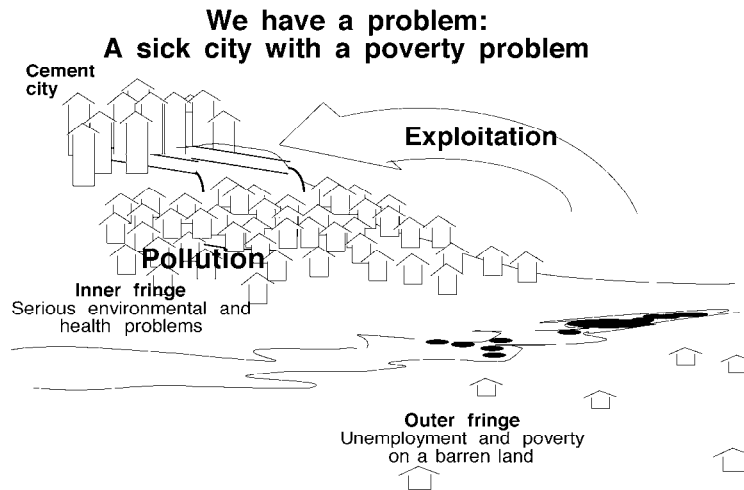


Figura 5: La ciudad actual es un parásito ecológico para los alrededores, consume valor fértil y produce contaminación y enfermedades.

La ciudad

La ciudad de Nampula se construyó en lo alto de una meseta, donde las aguas residuales acababan en las laderas. Sin saber o sin considerar los riesgos, una creciente población periurbana se estableció justamente en estas laderas, cercanas a las fuentes de trabajo. Los frecuentes brotes de cólera son muestra de serios problemas sanitarios.

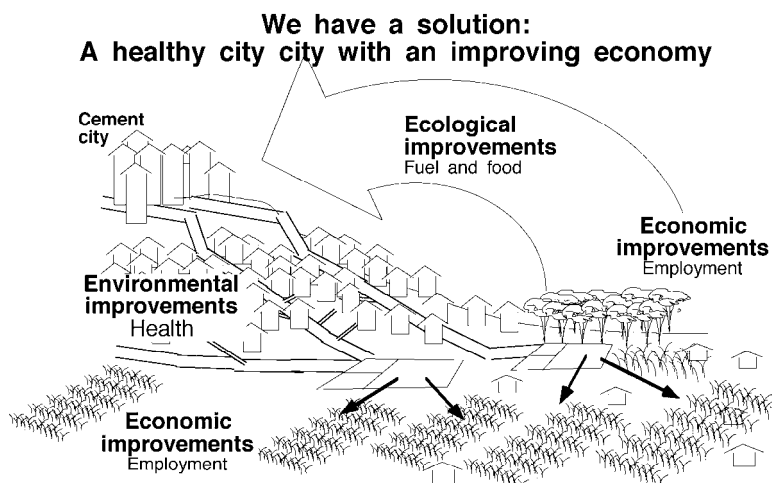


Figura 6: La ciudad ecológica es un recurso para los alrededores al producir agua fértil para riego y por consiguiente producir alimentos, combustible, salud y riqueza.

Sesión I

Una solución lógica al problema de saneamiento de Nampula parece ser el establecimiento de lagunas y humedales de tratamiento al fondo de las laderas para un tratamiento ecológico de los lodos residuales, produciendo combustible orgánico, composta y posteriormente comida para consumo local y exportación y a la larga generar muchas fuentes de trabajo.

Pequeñas fosas alineadas y conectadas a tuberías de drenaje podrían ser una solución económica y factible.

Conclusiones

El espacio para la construcción y vaciado de letrinas en zonas periurbanas es un serio problema. Casi nunca hay disponible tierra para agricultura urbana y es difícil proteger los cultivos de animales y visitantes hambrientos. “Haz y olvídate” es la solución preferida por la mayoría de las personas.

En el caso de Luanda, intentar reintroducir el saneamiento seco resultó en un conflicto con la población, lo que detonó la necesidad de repensar los enfoques de saneamiento para zonas periurbanas.

En Antananarivo el sistema existente con pozos de absorción y fosas sépticas es ecológicamente congruente y produce alimentos y material de construcción para la ciudad. Tratar de cambiarlo ocasionaría más problemas que beneficios.

En Nampula, introducir un sistema de saneamiento a base de agua con tuberías de bajo calibre puede despertar entusiasmo para la construcción de sanitarios, ya que la tecnología se adapta al uso tradicional del agua y a la expectativa de adoptar un estilo de vida “urbano”, sin olvidar los beneficios económicos y ecológicos que puede ofrecer a la ciudad.

En muchos casos las soluciones de saneamiento municipal se pueden privatizar y hacerse redituables si la escala es factible. Los drenajes de bajo calibre son excelentes para transportar sólidos suspendidos, también por mayores distancias. Son bien conocidas las tecnologías para el tratamiento ecológico de lodos residuales y pueden adaptarse para dar servicio a comunidades grandes.



Figura 6: “Haz y olvídate” es la solución preferida por la mayoría de las personas. Al utilizar un sanitario de bajo consumo de agua y un pequeño tanque de retención, las aguas ricas en fertilizante pueden utilizarse después de un tratamiento ecológico.

Utilizar la regla de “no mezcla” como un *mantra* para soluciones ecológicas puede ocasionar conflictos con la población y dificultar el progreso. La solución a los problemas de higiene, que es una necesidad básica, no debe ponerse en riesgo.

Hay una fuerte tendencia entre la población periurbana de copiar los patrones de las “ciudades de concreto” donde el estatus está ligado a un estilo de vida “urbano” que generalmente lleva a mayores problemas ambientales e higiénicos.

El estatus del WC está fijado con cemento en la cultura urbana. Utilizado sabiamente, puede convertirse en una ventaja promocional.

Hay dos alternativas:

1. Intentar introducir soluciones ideales.
2. Aceptar las preferencias de la gente e intentar hacer lo mejor posible con eso.

La investigación sobre el saneamiento ecológico seco y a base de agua debe realizarse en paralelo para encontrar soluciones que también satisfagan las preferencias y cultura de la gente.

Referencias

- Brandberg Bjorn, (2002) Internal evaluation of improved sanitation in Luanda (Evaluación interna del saneamiento mejorado en Luanda). Informe final, Taller de Desarrollo, Luanda/SBI Consulting, Mbabane, Suiza
- Brandberg Bjorn, (2002) Capacitación de capacitadores en la construcción y promoción de letrinas mejoradas en Antananarivo Madagascar 4-9 nov 2002. Ministerio de Ingeniería y Minas, Ministerio de Salud, UNICEF, Banco Mundial/SBI Consulting, Mbabane, Suiza
- Brandberg Bjorn, (1999) The dream; from cholera to the ecological city (El sueño: del cólera a la ciudad ecológica). Documento presentado en el Taller de Saneamiento Ecológico en Harare 2-6 octubre 1999 SBI Consulting, Mbabane, Suiza

Subterra–humedales de tratamiento para aguas residuales (ejemplos y experiencias)

Joachim Krüger

Pflanzenkläranlagen GmbH
Schloss Duckwitz
17179 Duckwitz, Alemania
Internet: www.subterra.de
e-mail: info@subterra.de

Palabras clave

Humedales de tratamiento, *subterra*, aldea ecológica, estación de servicio de autopista, hoteles

Resumen

Los filtros de tierra con plantas o sistemas de purificación con camas de juncos son uno de los más antiguos y naturales medios para purificar aguas residuales. Principalmente se instalan en zonas urbanas. Estos humedales de tratamiento se han construido por más de 40 años. De la misma manera que el agua en la naturaleza se filtra en el suelo, fluye entre las raíces, se filtra por varias capas de arena y grava y se purifica por medio de microorganismos. Los humedales de tratamiento han sido un tema importante entre los estudios científicos durante los últimos 15 años – actualmente son aceptados como tecnología de vanguardia. Existen diversas implementaciones a nivel doméstico así como para grandes comunidades y en el sector turístico.

Este documento informa acerca de los humedales de tratamiento “*subterra*”, los cuales utilizan un sistema especial para la distribución de las aguas residuales. Diversos ejemplos de implementación bajo diferentes condiciones y climas demuestran cómo funciona el sistema, cómo han sido las experiencias y cuáles aplicaciones son posibles.

Método

Los sistemas modernos de purificación con camas de juncos utilizan una combinación de recursos mecánicos y biológicos para procesar las aguas residuales. Hay una diferencia entre el flujo vertical, el flujo horizontal y los sistemas combinados. Todos los sistemas tienen la ventaja de ofrecer una alta resistencia al cambio en el pH y una enorme superficie en sus medios de filtración para las poblaciones microbiológicas. Los sistemas de flujo vertical tienen que ser diseñados con una superficie entre 2 y 4 m² por una carga diaria de 150 litros dependiendo del clima. Los sistemas de flujo horizontal requieren más espacio – deben diseñarse con 5 a 8 m² por una carga diaria de 150 litros. Las autoridades alemanas publican descripciones técnicas para la construcción de instalaciones para tratamiento de aguas residuales. Los humedales de tratamiento se especifican en la hoja de trabajo A262 de la ATV (Abwassertechnische Vereinigung) y en reglamentos legales en los estados alemanes. Estas descripciones son la base para el diseño de las aplicaciones, pero deben ser adaptadas para otros climas distintos a los europeos. Deben también tomarse en cuenta los recursos locales.

El sistema *subterra* de purificación con camas de juncos es un sistema de filtro puramente vertical con un sistema de distribución subterránea de alta presión. Puede instalarse para casas o comunidades de 4 a 10,000 habitantes. Además de eso hay otras ventajas de particular importancia para las comunidades rurales con requerimientos locales específicos.

- Bajos costos de construcción
- Bajos costos de operación y mantenimiento
- Larga expectativa de vida del sistema
- El mantenimiento del sistema es sencillo
- No hay problemas de olores ni mosquitos debido al tratamiento subterráneo
- Especialmente apropiado para cambios en los flujos de entrada ocasionados por cambios estacionales y desarrollos turísticos
- Se pueden utilizar recursos locales para minimizar la cantidad de tecnología importada.

La pre-purificación mecánica de las aguas residuales tiene lugar en una fosa con múltiples cámaras. Las dimensiones mínimas son 4m³, pero en suma depende de la cantidad de viviendas conectadas o de la cantidad diaria de aguas residuales. Por lo demás, se construye según las especificaciones de flujo de entrada de las autoridades alemanas del agua: 150 litros diarios por persona. El subsiguiente traslado de las aguas residuales a la cama de juncos se logra por medio de un sistema de tuberías a presión, lo cual garantiza una distribución uniforme de las aguas sobre la cama de filtración. La cama consiste en distintas capas de arena y grava y está plantada principalmente con juncos, e.g. carrizos comunes.

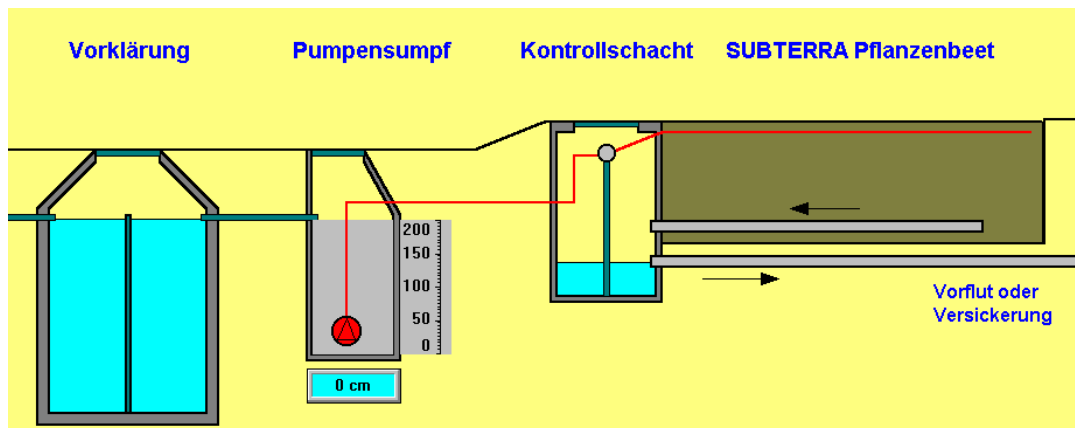


Figura 1: Principio técnico del sistema vertical de filtración de suelo *subterra*

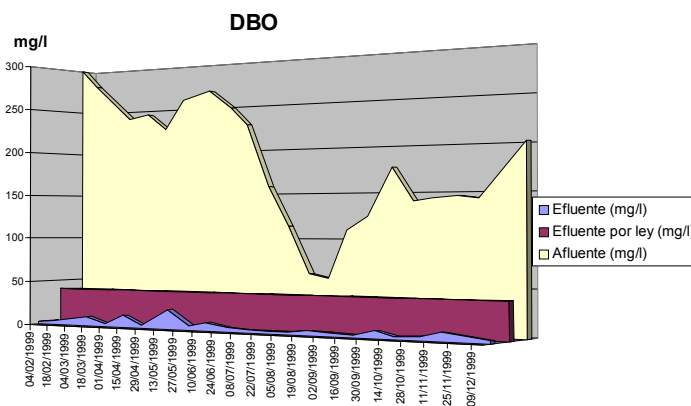


Figura 2: Valores típicos de efluentes de los sistemas *subterra* en hoteles

El sistema de raíces de las plantas, es decir, los rizomas, asegura una aireación en el suelo para los microorganismos aeróbicos. La aireación del suelo resulta de la entrada de oxígeno a través del sistema vascular de las raíces y del suelo que se afloja por el crecimiento de las raíces, que permite una extensa difusión entre los intervalos de riego. Los rizomas también aseguran un flujo hidráulico a largo plazo. En las raíces se forma una capa de microorganismos. Nitrificadores

y desnitrificadores degradan los componentes orgánicos. El agua purificada es entonces recolectada en tuberías por donde fluye a un tanque de control, donde puede ser monitoreada. Después de eso es descargada en un río, un estanque, en la tierra o se reutiliza en un ciclo de agua secundario.

Las fluctuaciones estacionales tienen un mínimo efecto en este proceso y por lo tanto se puede garantizar un efluente de calidad satisfactoria durante los inviernos europeos. Un elemento central del sistema son las tuberías subterráneas de alta presión hechas con EPDM de alto grado y accesorios para distribución de alta presión de acero refinado. Las tuberías se pueden cerrar y lavar individualmente. La cantidad del flujo de entrada tampoco daña al sistema debido a la gran resistencia a cambios en el pH del filtro de tierra plantado. El filtro de tierra tiene una profundidad promedio de aproximadamente 1.2m, lo que significa que 1,2 m³ están disponibles para un promedio de carga hidráulica de 50 litros por día y metro cuadrado. Esta cantidad se puede duplicar o reducir por un periodo de varias semanas sin dañar la actividad de los microorganismos. Esta ventaja, en comparación con estaciones compactas de tratamiento de aguas residuales, propicia su implementación en lugares turísticos y aquellos con altas fluctuaciones en la producción de aguas residuales, como hoteles, parques acuáticos, estaciones de servicio en autopistas y *bungalows* vacacionales. Se han instalado más de 100 estaciones en los últimos años – a continuación se presentan algunos ejemplos de instalaciones en Alemania, Grecia, Sudáfrica y Tailandia.

Aldea ecológica “Wohnhof Braamwisch”, Hamburgo / Alemania, 54 p.e.



Figura 3: Vista de la cama de juncos de *subterra* y la casa equipada con paneles solares

En este caso el tratamiento de las aguas residuales se realiza de dos maneras separadas. Se utilizan sanitarios composteros que reducen también el consumo de agua. Las aguas grises de las viviendas entran a una fosa séptica para el pre-tratamiento mecánico y posteriormente a un filtro de suelo plantado para el tratamiento biológico. La cama de juncos *subterra* tiene una superficie de sólo 90m². El efluente se dirige a un tanque de almacenamiento para irrigación.

Los valores que se alcanzan en el efluente son generalmente: DBO₅ 5 mg/l y DQO 40 mg/l. Se deben alcanzar valores muy bajos de fosfatos y nitrógeno total. El consumo de energía es aproximadamente 400 kW/h por año. Debido al sistema subterráneo de distribución de las aguas residuales no se producen malos olores y la estación de tratamiento está ubicada a tan sólo un promedio de 3m de distancia de las viviendas.

Estación de ferrocarril “Dwarsfontein”, Provincia de Mpumalanga / Sudáfrica, 300 p.e.

En las autopistas sudafricanas existen ‘petropuertos’ que ofrecen bombas de combustible y servicios de restaurante al público. En Dwarsfontein, entre Johannesburgo y Witbank, se ha instalado un humedal *subterra* para purificar estas difíciles aguas residuales con altas cargas

de acidez por orina en un clima semiárido. Se construyó de acuerdo a los estándares alemanes para filtros de flujo vertical.

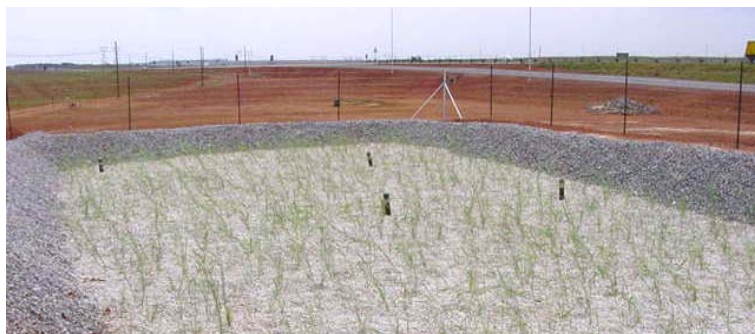


Figura 4: Vista de la cama de juncos de *subterra* y el camino de salida a la autopista

Hubo que considerar la alta evapotranspiración: para los estándares alemanes se calcula 20% de evapotranspiración – en la región sudafricana se alcanza hasta 50%. Como el agua es el principal problema, es muy importante el reuso y recirculación de las aguas residuales tratadas biológicamente. Aproximadamente 60 % de las aguas tratadas son reutilizadas para descargar sanitarios y para irrigación en el lugar. El sistema *subterra* debe

manejar fuertes fluctuaciones en la cantidad de aguas residuales que entran al sistema. Se diseñó para una carga promedio de 48m³ diarios y debe manejar hasta 90m³ diarios en fines de semana y vacaciones. Los valores en las aguas tratadas varían entre 40 y 60 mg/l DQO para un agua de entrada con valores entre 400 y 800 mg/l. Los coliformes fecales se reducen a 5 por 100ml. Estos resultados muestran que incluso en clima árido y con altas cargas de amoníaco los humedales de tratamiento son muy efectivos.

Hotel “ALFA BEACH”, Kolymbia, Rodas / Grecia, 500 p.e.

Esta estación *subterra* trata las aguas residuales de un hotel cuatro estrellas en una de las playas favoritas de la isla de Rodas. La construcción integra el sistema de aguas residuales en el diseño de los jardines del hotel. El sistema aparenta un típico río de Rodas y se ubica en las orillas del predio, ya que el espacio es limitado. La superficie de la cama de juncos es aproximadamente 1,000m². Se ubican muy cerca de los apartamentos y la piscina ya que no hay olor que moleste a los huéspedes. Los valores promedio de los efluentes son: DBO₅ 3–10 mg/l y DQO 30–50 mg/l.



Figura 5: Vista de la cama de juncos *subterra* junto a los apartamentos

Se tomaron en cuenta los cambios estacionales en la cantidad y calidad de aguas residuales – durante la temporada baja no se descargan aguas residuales en el sistema. Las aguas tratadas se utilizan para riego en los jardines del hotel y en eucaliptos en corredores públicos. El costo energético es de sólo € 250. - por año.

Al manejar aguas residuales de hoteles y restaurantes es muy importante planear el tamaño adecuado de las trampas de grasa para impedir que la grasa llegue al reactor biológico de la cama de juncos. El consumo de agua en los hoteles depende del estándar, de su equipo

técnico y de instalaciones de ahorro de agua. En el hotel Alpha Beach el consumo se reduce a 250 l por persona. En otros casos se utilizan hasta 500 litros por persona.

Hotel “PP Princess”, Isla Phi Phi/ Tailandia, 750 p.e.

Este hotel está situado en una de las islas más bellas de Tailandia. El sistema de purificación *subterra* se ubica en diferentes lugares dentro del hotel, con el fin de reducir la distancia de las tuberías e integrar el sistema de aguas residuales en los jardines. Las camas de juncos están en la parte posterior o a los lados de grupos de bungalows y cerca de edificios públicos como el restaurante, *spa* y otros. Los valores de los efluentes varían entre 3 y 15 mg/l para DBO₅ y entre 30 y 50 mg/l para DQO.

La fluctuación estacional en la cantidad y calidad de las aguas residuales es más baja que en otros hoteles ya que el PP Princess tiene contratado el hotel entre 60 y 100% durante todo el año. Las aguas residuales tratadas se utilizan para irrigación. Las camas de juncos tratan todo tipo de aguas residuales: aguas negras típicas domésticas, agua de cocina y de lavandería con altas cargas de tensoactivos.

La revisión de la planta de tratamiento se lleva a cabo por un sistema de control telemático GSM, lo cual permite que se controle la estación incluso desde Alemania. El personal de mantenimiento e ingenieros de agencias consultoras locales se han capacitado en el manejo de este sistema natural de tratamiento.

Hemos aprendido que no es suficiente con exportar equipo tecnológico de Alemania. Los recursos y productos locales, así como la capacitación deben ser parte fundamental de la instalación, lo cual facilita la introducción de avanzadas tecnologías europeas.



Figura 6: Vista de la cama de juncos *subterra* núm.4 directamente contigua a los

Estaciones solares autárquicas en autopistas “Warnowtal”, “Quellental” y “Selliner See” cerca de Rostock, Alemania, 50 p.e.



Figura 7: vista desde las pérgolas al sanitario solar

Ya que la construcción de sistemas de drenaje y redes eléctricas en zonas urbanas no resulta económica para consumidores pequeños, se tuvieron que poner en práctica nuevas ideas. Tres zonas de descanso y estacionamiento en la autopista A20 en el norte de Alemania presentan un nuevo enfoque para resolver un problema común en autopistas no sólo en Alemania. Estas zonas de descanso están equipadas con una combinación de varias instalaciones de energía renovable. Cuentan con un sistema fotovoltaico, colectores solares térmicos, pequeños generadores eólicos, co-generador de biodiesel y arquitectura solar. El tratamiento

de aguas residuales se lleva a cabo en un sistema *subterra* de 8m³/50p.e. Una vez más, el sistema *subterra* se eligió por su gran resistencia a cambios en el pH y su capacidad para manejar altas cargas de amoníaco.

Los detalles técnicos de los compuestos energéticos son:

- 26m² colectores térmicos solares
- 10m² paneles fotovoltaicos
- 4kW generador eólico
- 15kVA co-generador de bio-diesel
- 1500Ah estación de batería
- sistema de pozo de baja energía
- 150m² humedal *subterra*

Las estaciones solares autárquicas de autopista llevan funcionando ya dos años. La operación sin problemas muestra que nuevas tecnologías como éstas son sustentables, aplicables y eficientes.

Tratamiento de aguas grises combinando bio-filtros y humedales de tratamiento en clima frío

Petter D. Jenssen
Lasse Vråle

Departamento de Ingeniería Agrícola
Universidad Agrícola de Noruega
1432 Ås, Noruega
e-mail: petter.jenssen@itf.nlh.no
e-mail: lasse@vrале.com

Palabras clave

Aguas grises, bio-filtro, humedal de tratamiento, clima frío

Resumen

En Noruega los sistemas constituidos por un bio-filtro aeróbico seguido de un humedal de tratamiento de superficie horizontal han tenido mucho éxito en reducir la materia orgánica, las bacterias indicadoras, el nitrógeno y el fósforo en aguas grises. Como en Noruega se usan detergentes libres de fosfatos y no se incluyen aguas negras (del sanitario), la entrada promedio de concentraciones de fósforo (medidas en el efluente de la fosa séptica –EFS) son aproximadamente 1mg P/l y la entrada promedio de concentraciones de nitrógeno está en el rango de 8-10 mg N/l. El bio-filtro aeróbico antes del humedal es esencial para eliminar DBO en un clima donde las plantas están inactivas durante la temporada fría. Al combinarse con un humedal de tratamiento de flujo horizontal, las concentraciones de bacterias indicadoras en los efluentes satisfacen los estándares europeos de calidad de agua para natación. Las concentraciones de fósforo en el efluente son generalmente < 0.2 mg P/l y para el nitrógeno < 5mg N/l. El sistema combinado de bio-filtro y humedal de tratamiento requiere una superficie de 1-3m² por persona. Este diseño compacto permite su aplicación en el entorno urbano.

Introducción

Noruega tiene amplia experiencia en el uso de sistemas de separación de flujos *in situ* para el tratamiento de aguas residuales (Jenssen y Skjelhaugen 1994, Jenssen 1996, 1999, 2001). Las aguas grises constituyen 60-80% del volumen de flujo en los sistemas de drenaje convencionales. En un sistema de reciclaje basado en separación de las fracciones de aguas residuales en el lugar donde se originan se utilizan sanitarios de bajo consumo de agua o sanitarios secos, por lo que el volumen de las aguas grises se incrementa a >90% del total del flujo de aguas residuales. Las aguas negras (del sanitario) contienen la mayor parte de los nutrientes y sólo 10% del nitrógeno, 26% del fósforo y 21% del potasio se encuentran en las aguas grises (Vinnerås 2002). La eliminación de nutrientes se vuelve entonces un asunto de menor importancia. Sin embargo, las aguas grises pueden contener 50% de la materia orgánica en aguas residuales (Rasmussen *et al.* 1996) y una cantidad considerable de virus y bacterias (Ottosen y Stenström 2002). Se necesitan entonces sistemas capaces de eliminar materia orgánica y patógenos para facilitar la descarga o reutilización de las aguas grises.

La cantidad de tratamiento a las aguas residuales dependerá del uso y descarga final del agua. Si se descarga al mar, no se requiere ningún tratamiento o tal vez un tratamiento primario. Si se descarga en lagos o ríos es frecuente la necesidad de un tratamiento secundario. Antes de descargar el efluente en cuerpos de aguas receptoras o utilizarlas para riego o recarga de acuíferos deben reducirse los parámetros higiénicos. Para uso doméstico o para agua potable

es posible que se requiera un sofisticado tratamiento terciario. Donde las condiciones naturales lo permitan, la infiltración al suelo es una opción económicamente efectiva para el tratamiento de aguas grises (Westby *et al.* 1997). Noruega ha desarrollado su propio conjunto de criterios para dimensiones y diseño de filtros de arena y de infiltración al suelo para aguas grises (Jenssen y Siegrist 1991, MD 1992). Este documento describe detalles de diseño y funcionamiento de sistemas combinados de bio-filtro/humedal de tratamiento para aguas grises en climas fríos.

Composición de las aguas grises

La información representativa de la producción y composición de las aguas residuales domésticas es escasa y se requieren más datos para poder predecir confiablemente el potencial de contaminación de las aguas grises. Rasmussen *et al.* (1996) realizaron una investigación bibliográfica sobre la composición de aguas grises y encontraron que las concentraciones totales de fósforo varían entre 1.4–18.1 mg/l. La concentración más alta es de Suecia (Olsson *et al.* 1968). El estudio de Olsson indica que el detergente contribuye con 2.5g P/persona por día o 912g P/persona al año y esto explica la alta concentración de fósforo. El nitrógeno total fluctuó entre 6.7–42 mg/l. Vinnerås (2002) ha estudiado la composición actual de las aguas residuales en Suecia y ha mostrado que las concentraciones de metales pesados en aguas grises parecen haberse reducido durante los últimos años, pero la descarga de masa de nitrógeno y fósforo es en cierta medida subestimada comparada con Naturvårdsverket (1995). Después de 1997 se ha acumulado más información sobre la composición de las aguas grises en noruega debido a la construcción de varios sistemas más grandes. Es entonces interesante comparar algunos datos sobre la composición de las aguas grises (Tabla 1).

Fuente	Fósforo		Nitrógeno	
	g/p por año	mg/l	g/p por año	mg/l
Torvetua*	58	1,07	406	7,1
Kaja*	56	0,97	470	8,2
Vinnerås 2002	190	5,0	500	13,2

*Medidos a la salida de la fosa séptica (EFS)

Tabla 1: Masa (g/persona por año) y concentraciones (mg/l) en aguas grises.

Los datos de Kaja y Torvetua en Noruega se basan en flujos promedio ajustados a una presencia de 100% asumiendo que 70% de la producción de aguas residuales ocurre en casa. Para el nitrógeno los valores de Torvetua y Kaja son un poco más bajos que los valores de Suecia (Vinnerås 2002), mientras que para el fósforo, los valores noruegos son sólo 1/3 de los valores suecos. Los valores noruegos están tomados del efluente de la fosa séptica (EFS). Es posible que se elimine 5-20% del nitrógeno y fósforo en la fosa séptica (Pell y Nyberg 1985), por lo tanto, la diferencia en la masa de nitrógeno puede deberse a la fosa séptica. Los detergentes lavaplatos y lavarropas pueden ser la razón más probable de la diferencia en el contenido de fósforo. En Noruega la mayoría de los detergentes para platos y ropa en el mercado no tienen fosfatos, en tanto que en Suecia sí contienen fósforo.

Al ver las concentraciones promedio de aguas grises noruegas en muestras tomadas después de 1996, las concentraciones promedio del EFS son 1.03 mg P/l para fósforo total y 8.4 mg N/l para nitrógeno total. Estas muestras reflejan la composición de las aguas grises de cerca de 200 personas. Esto significa que el nitrógeno, sin ningún tratamiento, cumple con los estándares de la OMS para el agua potable. En Noruega, la descarga permitida de fósforo total para muchas pequeñas plantas de precipitación química que descargan sus efluentes en ríos es 1mg P/l. En muchos casos las aguas grises cumplen también con este requerimiento sin ningún tratamiento o sólo con un tratamiento primario.

Diseño y funcionamiento del bio-filtro y humedal de tratamiento de flujo horizontal

El concepto general (Figura 1) consiste en un pre-tratamiento de las aguas grises en una fosa séptica; posteriormente se bombean a una caída de flujo vertical donde pasan una sola vez por un bio-filtro seguido de un filtro poroso sub-superficial de flujo horizontal. El bio-filtro puede estar integrado (Figura 1) o separado de la sección de flujo horizontal. La sección del humedal usualmente se planta con carrizos comunes (*Phragmites*). Evaluaciones sobre el papel de las plantas en estos sistemas cuando se tratan aguas residuales (incluyendo aguas negras del sanitario), tanto en campo como en sistemas de mediana escala, muestran que la zona de las raíces tiene un efecto positivo en la eliminación de N, pero no tienen efecto significativo en la eliminación de P y DBO (Zhu 1998, Mæhlum y Stålnacke, 1999). Algunos de los sistemas más recientes se han construido en consecuencia con una capa de hierba sobre una cubierta aislante de suelo. Los sistemas cubiertos de hierba no cumplen con la definición estricta de un humedal, aunque el filtro está saturado de agua.

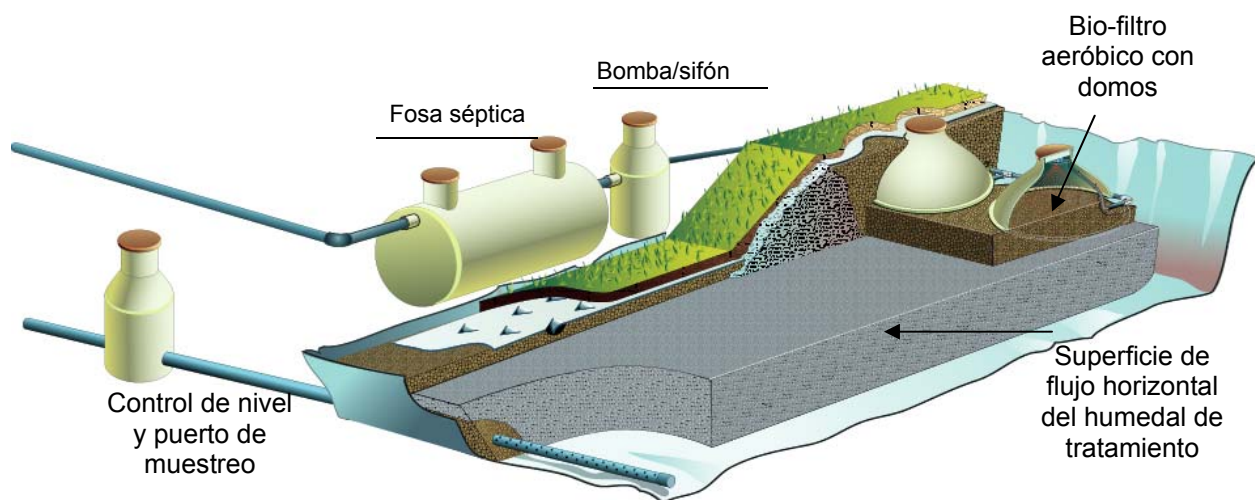


Figura 1: La última generación de humedales de tratamiento para climas fríos en Noruega, con un bio-filtro aeróbico integrado.

El bio-filtro aeróbico

El bio-filtro (Figura 1) está cubierto por un compartimiento (e.g. un domo hemisférico), que facilita el rocío del EFS sobre la superficie del bio-filtro. El bio-filtro tiene una profundidad estándar de 60 cm y se recomienda una granulación del orden de 2–10mm. En Noruega, el medio más común para filtrar es un agregado ligero de 2 a 4mm, aunque puede utilizarse grava u otro tipo de medio dentro del rango de grano arriba mencionado. El efecto de la profundidad del filtro en la eliminación de DBO y bacterias en filtros de agregado ligero y arena ha sido estudiado por Rasmussen *et al.* (1996). El estudio concluyó que la eliminación de DBO era independiente de la profundidad de los filtros entre 20 y 60cm, pero la eliminación de bacterias fue menor en filtros con menor profundidad.

El uso de bio-filtros y humedales de tratamiento con agregados ligeros o materiales porosos similares se está abriendo paso en el mercado noruego (Heistad *et al.* 2001, Jenssen y Krogstad 2002, Mæhlum y Jenssen 2002). El bio-filtro de un sólo pase (la materia pasa por el filtro sólo una vez) airea las aguas residuales y reduce DBO y bacterias. Utilizando dichos bio-filtros para tratar aguas grises se han obtenido reducciones de más de 70% en DBO y de 2-5 log en las bacterias indicadoras con un nivel de carga de aguas grises de hasta 115cm/d. Si se asume una producción de aguas grises de 100l/persona*día, un bio-filtro de 1m² de superficie puede tratar las aguas grises de aproximadamente 10 personas, por lo cual es posible construir

bio-filtros muy compactos. No se han observado obstrucciones, incluso con niveles de carga mayores a 100cm/d, sin embargo, se observan lombrices de tierra viviendo en el bio-filtro. Probablemente el contacto de las lombrices con la bio-película reduce las obstrucciones y mejora la capacidad hidráulica del filtro. La clave para un buen funcionamiento del bio-filtro es la distribución uniforme del líquido sobre el medio filtrante y una dosificación intermitente (Heistad *et al.* 2001). Con el fin de mejorar aún más la calidad del efluente, el bio-filtro puede ir seguido de un filtro de arena o un humedal de tratamiento (Figura 1).

Humedal de tratamiento de flujo sub-superficial horizontal

Según los lineamientos noruegos (Gaut y Mæhlum 2001), la profundidad recomendada para el humedal de flujo sub-superficial horizontal es mínimo 1m. Esto es más de lo que se sugiere en otros lineamientos (Vymazal *et al.* 1998, Kadlec *et al.* 2000). La razón es el clima frío. En Noruega los sistemas están dimensionados de modo que los 30cm superiores puedan congelarse y que todavía exista suficiente capacidad hidráulica para transportar el agua debajo de la zona congelada. La geometría final (largo, ancho) de un sistema está basada en consideraciones hidráulicas, pero para sistemas que tratan flujos combinados de aguas grises y negras, la dimensión depende también de la capacidad de absorción de fósforo del medio filtrante. Para sistemas comerciales de tratamiento de aguas grises la superficie resultante es 2-3m²/persona. Para sistemas de tratamiento de flujos combinados de aguas grises y negras la superficie recomendada está normalmente en el rango de 7 a 9m²/persona. Se están investigando diseños más compactos en sistemas experimentales tanto para tratamiento de aguas combinadas (negras y grises) como de aguas grises solamente. Todos los sistemas actuales en Noruega se construyen con un bio-filtro aeróbico seguido de un humedal de tratamiento de flujo sub-superficial horizontal (Figura 1). Algunos sistemas utilizan arena en la sección de flujo horizontal, pero la mayoría de los sistemas en Noruega utilizan agregados ligeros tanto en el bio-filtro como en la sección de flujo horizontal.

Sistemas combinados de bio-filtro aeróbico y humedal de tratamiento

Hay tres sistemas combinados de bio-filtro/humedal en operación en Noruega (Tabla 3). El primer sistema construido de acuerdo a la configuración de la figura 1 es la planta de Kaja que trata aguas grises de dormitorios de estudiantes en la Universidad Agrícola de Noruega (Tabla 2). La planta de Kaja tiene agregados ligeros de 2-4mm (Filtralite™) tanto en el bio-filtro como en la sección del humedal de flujo horizontal.

Parámetro	Concentración promedio en cada unidad			porcentaje eliminación % bio-filtro	porcentaje eliminación % humedal	eliminación total % bio-filtro y humedal	
	Unidad	salida fosa séptica	salida bio-filtro				salida humedal
pH		6,72	6,78	7,43			
fósforo total	mg P/l	0,97	0,32	0,07	67,0	78,1	92,8
ortofosfato	mg P/l	0,56	0,10	0,04	82,1	60,0	92,9
DBO 7	mg O/l	130,7	38,2	6,90	70,8	81,9	94,7
nitrógeno total	mg N/l	8,20	5,00	2,50	39,0	50,0	69,5
amonio	mg N/l	3,2	2,4	2,3	25,0	4,2	28,1
nitrito	mg N/l	<0,03	<0,03	<0,03			
Bact. Colif. Termotol.	BCT/100ml	10 ⁶	10 ³ -10 ⁵	0-10 ³			

Tabla 2: Concentraciones promedio y desempeño del tratamiento (%) para la planta de tratamiento de aguas grises de Kaja, otoño 1998 y primavera 1999 (n = 11).

La Tabla 2 muestra el desempeño del sistema de Kaja durante su segundo año de operación. Las concentraciones de nitrógeno total y el fósforo total en el efluente del bio-filtro son muy

bajas. Sin embargo, para reducir la DBO_7 por debajo de 10mg O/l, y para satisfacer los requerimientos europeos respecto a las bacterias indicadoras en agua para natación (<1000 bacterias coliformes termotolerantes /100ml), se requiere el humedal de tratamiento de flujo sub-superficial horizontal. Con un tiempo de retención en el humedal de 6 a 7 días, (Gulbrandsen 1999) las fluctuaciones en el flujo de salida son pequeñas. La Figura 2 también muestra que la eliminación de DBO no varía significativamente con las estaciones. Esto puede atribuirse al largo tiempo de retención, pero también a las altas temperaturas de las aguas grises. Durante el invierno, la temperatura en el EFS fluctuó entre los 10 y 15°C y declinó a lo largo del humedal a 2-3°C (Gulbrandsen 1999). No se detecta nitrato. Esto puede indicar que no ocurre nitrificación o que el nitrato producido es inmediatamente desnitrificado.

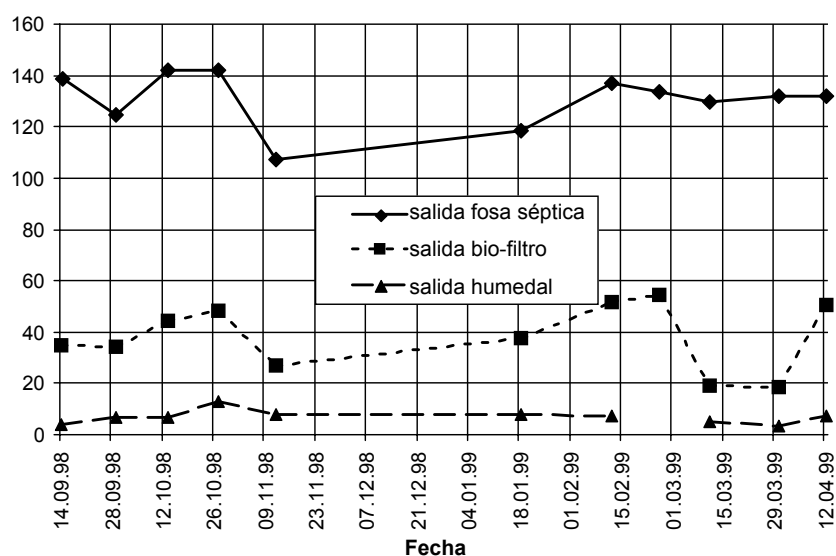


Figura 2: Concentración de DBO_7 Vs. tiempo, en el EFS, el efluente del bio-filtro y el efluente del humedal.

La alta absorción de fósforo en el sistema (Tabla 2) se debe a la capacidad de absorción del agregado ligero utilizado. La absorción de fósforo en el bio-filtro sólo se espera durante los primeros años. El humedal tiene mucha mayor capacidad de absorción que el bio-filtro ya que tiene mucho mayor volumen. Con el tipo de agregado utilizado se puede esperar una alta eliminación de fósforo durante 10-15 años.

El sistema de Kaja está actualmente en su sexto año de operación y no se ha observado una reducción en la eliminación de fósforo y nitrógeno. El invierno pasado la DBO_7 fue <3mg/l en las tres muestras a la salida del sistema que indican que el desempeño en relación con DBO_7 puede haber mejorado. El conteo de bacterias coliformes termotolerantes (BCT) en la salida del sistema son generalmente menores a 100 BCT/100ml y 7 de 21 muestras han presentado 0 BCT/100ml.

Los dos sistemas de tratamiento en Torvetua (42 condominios) y Klosterenga (33 apartamentos) muestran valores de tratamiento muy similares al sistema de Kaja (Tabla 3).

En Klosterenga, en la ciudad de Oslo, las aguas grises son tratadas en el patio del edificio. El espacio requerido para este sistema experimental es al rededor de 1 m²/persona, y el área de tratamiento también se utiliza como patio de juego. El diseño compacto se debe a que la sección de flujo horizontal se construyó con una profundidad de 1.8m en lugar del estándar de un metro, con lo cual se ahorró superficie y aún hay suficiente volumen de medio poroso en la

sección de flujo horizontal. En verano se obtiene aireación adicional con un sistema en forma de flujo (Wilkes1980). A la fecha no hay muestras disponibles de los flujos de entrada en Klosterenga. Las muestras del flujo de salida muestran un mejor desempeño con respecto al fósforo y bacterias que en los sistemas en Kaja y Torvetua (Tabla 3). Esto es debido a un nuevo agregado ligero, FiltraliteP™, que tiene una alta capacidad de absorción de fósforo y de reducción de bacterias. Se estima que, asumiendo entradas similares de concentraciones de fósforo a las de Kaja y Torvetua, saturar el humedal con fósforo tomará más de 40 años en Klosterenga. Con los altos niveles de calidad en los efluentes como se muestra en la tabla 3 se reduce la necesidad de un sistema secundario de recolección ya que los arroyos locales o cuerpos de aguas pueden ser utilizados para recibir las aguas tratadas incluso en zonas urbanas.

Sistema	Personas conectadas	Año de construcción	TP		TN		DQO		DBO ₇ ^a		BCT ^b
			%	Cont	%	Cont	%	Cont	%	Cont	
Kaja	48	1997	94	0,05	70	2,6	94	15,8	94	5,6	an
Torvetua	140	1998	79	0,21	60	2,2	88	41,0	97	5,5	an
Klosterenga	100	2000		0,03		2,5		19,0			0

a) DBO de 7 días es estándar en Noruega, b) Bacterias Coliformes Termotolerantes

an= calidad de agua para natación < 1000 BCT/100ml

Tabla 3: Concentraciones promedio de salida y desempeño del tratamiento (%) para tres sistemas combinados de bio-filtro / humedal de tratamiento. Promedio sobre el tiempo total de servicio.

La excelente calidad del efluente (Tablas 2 y 3) facilita el reuso de las aguas para irrigación, recarga de acuíferos o uso doméstico. Es posible utilizar las aguas efluentes para descarga de sanitarios y lavado de automóviles (Tabla 3) sin ningún otro tratamiento. Sin embargo, estudios recientes indican que las aguas grises pueden contener virus y bacterias patógenas que no estén representados por las bacterias indicadoras (Ottosen y Stenström 2002). Es posible entonces que se requiera un tratamiento posterior antes de los usos mencionados. Con el fin de elevar la calidad del efluente a agua potable o para higiene personal se puede requerir un tratamiento solo o combinado de micro filtración, ósmosis inversa o filtro de carbono.

Conclusión

Se desarrolló una combinación de bio-filtro de flujo vertical seguido por un humedal de tratamiento de flujo horizontal. Es posible la eliminación de más de 70% de la DBO y hasta una reducción 5-log en las bacterias indicadoras al pasar sólo una vez por el medio poroso de los bio-filtros utilizando una superficie de aproximadamente 0.1m² por persona. El área total que se requiere para el sistema combinado de bio-filtro/humedal de tratamiento es de 1 a 3m² por persona y el flujo de salida cumple con los estándares europeos de agua para natación con respecto a las bacterias indicadoras y los estándares de agua potable de la OMS respecto al nitrógeno. El reducido requerimiento de superficie del sistema y la alta calidad del efluente facilitan su uso en ambientes urbanos, descarga en pequeños arroyos o en cursos de agua al aire libre y para tratamiento subsiguiente para producir agua para consumo doméstico.

Referencias

- Gaut A. y Mæhlum T. 2001. Våtmarksfiltrer. VA-Miljøblad Nr. 49. NKF y NORVAR, Hamar, Noruega, 2001 (en noruego).
- Gulbrandsen, A. 1999. *Un sistema de vacío de bajo consumo de agua para transportar aguas negras y tratamiento in situ de aguas grises en un humedal de tratamiento*. Tesis de Maestría. Dpto. de Ingeniería, Univ. Agr. de Noruega, Ås (en noruego).
- Heistad, A., P.D. Jenssen y A.S. Frydenlund. 2001. *A new combined distribution and pre-treatment unit for wastewater soil infiltration systems (Una nueva distribución combinada y unidad de pre-tratamiento para sistemas de infiltración de aguas residuales en el suelo)*. En K. Mancl (ed.) *On-site wastewater treatment*. Memorias de la Novena Conferencia sobre Sistemas de Aguas Residuales Individuales y para Pequeñas Comunidades, ASAE.
- Jenssen, P.D. y O.J. Skjelhaugen. 1994. Local ecological solutions for wastewater and organic waste treatment - a total concept for optimum reclamation and recycling (Soluciones ecológicas locales para el tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos – un concepto total para un reciclaje y restauración óptimos). Memorias de la Séptima Conferencia sobre Sistemas de Aguas Residuales Individuales y para Pequeñas Comunidades, Atlanta, ASAE 18-94, pp. 379-387.
- Jenssen P.D. 1996. Ecological engineering—fundamentals and examples (Ingeniería ecológica – fundamentos y ejemplos). En: J. Staudenmann, *et al.* ed. *Recycling the resource: Memorias de la segunda conferencia internacional sobre ingeniería ecológica para tratamiento de aguas residuales*, Waedenswil, Suiza, sept. 18-22 1995. *Env. Research volumes 5-6*, Transtec, pp. 15-23.
- Jenssen P.D. y R.L. Siegrist 1991. *Integrated loading rate determinations for wastewater infiltration systems sizing. On-site wastewater treatment (determinaciones integradas de niveles de carga para dimensionar sistemas de infiltración de aguas residuales. Tratamiento de aguas residuales in-situ)*. Memorias de la Sexta Conferencia sobre Sistemas de Aguas Residuales Individuales y para Pequeñas Comunidades. 16-17 dic. 1991 Chicago, Illinois. ASAE Publ. 10-91, pp. 182-191.
- Jenssen P. D. 1999. *An overview of source separating solutions for wastewater and organic waste treatment (Una presentación de soluciones de separación in situ para el tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos)*. En: Kløwe B *et al.* (eds.). *Management the wastewater resource*. Memorias de la cuarta conferencia internacional sobre ingeniería ecológica para tratamiento de aguas residuales. Univ. Agr. de Noruega, Ås. junio 7-11, 1999.
- Jenssen P.D. 2001. *Design and performance of ecological sanitation systems in Norway (Diseño y funcionamiento de los sistemas de saneamiento ecológico en Noruega)*, Presentado en la Primera Conferencia Internacional sobre Saneamiento Ecológico, Nanning, China.
- Jenssen, P.D. y T. Krogstad. 2002. Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate (LWA) (Diseño de humedales de tratamiento utilizando agregado ligero para absorción de fósforo). En: *Treatment wetlands in cold climate*, Mander Ü. y Jenssen, P.D. (red), *Advances in Ecological sciences* no 11, pp. 259-272.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R. 2000. *Constructed wetlands for pollution control (Humedales de tratamiento para control de contaminación)*. Informe científico y técnico Núm.8. IWA Publishing, London
- MD. 1992. *Forskrift om utslipp fra separate avløpsanlegg*. Ministerio de Medio Ambiente, Oslo, Noruega.
- Mæhlum, T. y Stålnacke, P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations (Eficiencia de eliminación en tres humedales de tratamiento para aguas residuales domésticas en climas húmedos: efectos de la temperatura, estaciones, niveles de carga y concentraciones de entrada). *Wat. Sci. Tech.* 40(3), pp. 273-281, 1999.
- Mæhlum, T. y P.D. Jenssen. 2002. Design and performance of integrated subsurface flow wetlands in cold climate (Diseño y funcionamiento de humedales de tratamiento de flujo sub-superficial en climas fríos). En: *Treatment wetlands in cold climate*, Mander Ü. y Jenssen, P.D. (red), *Advances in Ecological Sciences* no 11, pp. 69-86.

- Naturvårdsverket. 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll, Agencia Sueca de Protección Ambiental, Estocolmo, informe 4425.
- Ottosen, J. y T. A. Stenström. 2002. *Faecal contamination of greywater and associated microbial risks (Contaminación fecal de aguas grises y riesgos microbianos asociados)*. Water Research, 37, 645-655.
- Olsson, E. y Karlgren, L. & Tullander, V. El Instituto Nacional Sueco para la Investigación en la Construcción, Estocolmo, informe 24 (1968)
- Pell, M. y F. Nyberg. 1985. Kvävereduksjon. En: U. Brömssen (ed.) Avloppsvatteninfiltrasjon. Naturvårdsverket, Estocolmo.
- Rasmussen, G., P.D. Jenssen y L. Westlie. 1996. Grey-water treatment options (Opciones de tratamiento para aguas grises). En: J. Staudenmann, *et al.* ed. Recycling the resource: Memorias de la segunda conferencia internacional sobre ingeniería ecológica para tratamiento de aguas residuales, Waedenswil, Suiza, sept. 18-22, 1995. Env. Research volumes 5-6, Transtec, pp. 215-220.
- Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion (Posibilidades para un reciclaje sustentable de nutrientes a través de separación de heces combinada con desviación de orina)*. Agraria 353-Tesis doctoral. Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Uppsala.
- Westby, T., J.C. Møller, G. Ausland, L. Westlie y G. Rasmussen. 1997. *Infiltrasjon av sanitærløp i stedlige jordmasser*. Jordforsk rapport nr 145/97.
- Wilkes, J. 1980. *som stöd för det levande-Virbela flowforms*. Balder 18/19 pp. 6-13, Järna Suecia.
- Vymazal, J., H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green y R. Haberl (Eds.). 1998. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe (Humedales de tratamiento para tratamiento de aguas residuales en Europa). Backuys Publishers, Leiden, Holanda.
- Zhu, T. 1998. Phosphorus and nitrogen removal in lightweight aggregate (LWA) constructed wetlands and intermittent filter systems (Eliminación de fósforo y nitrógeno en humedales de tratamiento con agregado ligero y sistemas intermitentes de filtración). Tesis doctoral 1997:16. Universidad Agrícola de Noruega, 1998.

Programa de saneamiento comunitario en Tangerang y Surabaya, Indonesia

Stefan Reuter
Andreas Ulrich

Asociación de Bremen para la Investigación y el Desarrollo en el Extranjero BORDA e.V.
Industriestr.20, D-28199 Bremen, Alemania
e-mail: reuter@borda.de

Palabras clave

BORDA, Centro de Saneamiento Comunitario (CSC), participación, elección informada, Indonesia

Resumen

La ciudad de Tangerang con sus tres millones de habitantes es una de las grandes ciudades satélite de Yakarta y con más de 1000 fábricas es el complejo industrial más grande de Indonesia. Cerca de las fábricas, junto a las líneas de producción vecinas, más de 250 mil habitantes viven en asentamientos pobres sin las mínimas instalaciones de saneamiento básico.

En colaboración con la ONG de Indonesia "BEST" y la participación de los usuarios, se han desarrollado centros de saneamiento comunitarios "MCK plus++". En ellos se ofrecen servicios como duchas, inodoros, lavaderos así como agua potable en una "fuente de agua" comunitaria. Más aún, integran tratamiento subterráneo de flujos parciales de aguas negras y grises de sanitarios y duchas. Desde 1999 se han implementado 35 unidades en los centros de las ciudades de Tangerang y Surabaya con un enfoque orientado a la demanda. La operación y servicio están a cargo de personal de tiempo completo en el lugar. El mantenimiento lo aseguran expertos en saneamiento de BEST. Las cuotas de los usuarios cubren los gastos de operación y mantenimiento. Actualmente se reciclan los lodos digeridos, se utiliza biogás y se reciclan las aguas para riego de jardines circundantes.

El "MCK plus++" ha demostrado ser una solución ideal de saneamiento comunitario para asentamientos urbanos densamente poblados de bajos recursos donde las viviendas no cuentan con instalaciones sanitarias ni agua potable. Sin embargo se requiere más investigación para elaborar un catálogo de soluciones que cumplan con los principios ecosan, donde los usuarios puedan elegir. Se ha iniciado una cooperación entre la Universidad Técnica de Hamburgo-Harburgo (Prof. Otterpohl) y universidades locales socias con el fin de buscar otras mejoras y nuevas soluciones como la desviación de orina y análisis de mercado para los productos reciclados. Los nuevos desarrollos deben lidiar con la realidad cultural y social, la aceptación de los usuarios y la viabilidad económica. Son bienvenidos nuevos socios que deseen incorporarse.

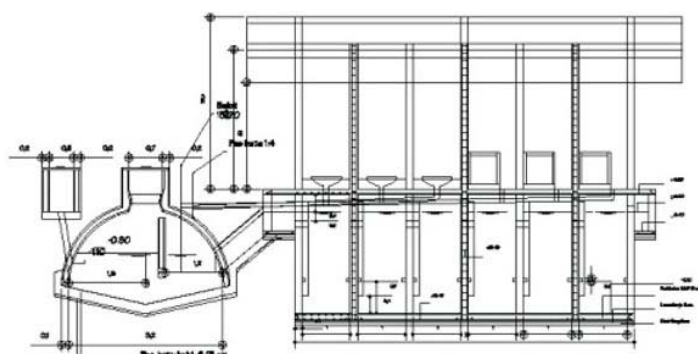


Figura 1: Diseño técnico de un centro de saneamiento comunitario "MCKplus++"

Introducción

Las islas de Java y Bali están entre las zonas más densamente pobladas del mundo. 125 millones de personas que viven en 150.000km² descargan aproximadamente 10 millones de m³ de aguas residuales al día o 3,650 millones de m³ de aguas residuales al año en el ambiente. Según los estándares de la OMS, el agua entubada y en pozos en la mayoría de las ciudades indonesas no cumple con los estándares para consumo humano debido a contaminación por *e. coli*. Sólo 6 grandes ciudades indonesas tienen plantas centralizadas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el sistema de drenaje da servicio a 10-15% de la población. Las fosas sépticas, que frecuentemente son casi simples perforaciones, son actualmente el estado del arte en tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario. La mayoría de los sistemas de drenaje *in situ* no funcionan adecuadamente. Como en la mayoría de las mega-ciudades del sur de Asia, los recursos naturales y el sustento, en especial en asentamientos urbanos pobres, están en creciente amenaza. La gente de escasos recursos vive en condiciones que se caracterizan por una extrema deficiencia en el suministro de agua y en infraestructura sanitaria. Las pocas instalaciones existentes son inadecuadas e inaceptables en términos de higiene, dignidad y ecología.

Centros de Saneamiento Comunitarios (CSC)

Desde 1999, BORDA, en cooperación con sus socios locales indoneses, la ONG "Bina Ekonomi Sosial Terpadu" – BEST (Instituto para el Desarrollo Económico y Social Integrado), ha implementado la construcción de 35 "MCKplus++" (Centros de Saneamiento Comunitarios) que consisten en inodoros, duchas y lavaderos y tienen una "fuente de agua" comunitaria integrada para suministro de agua potable. Los beneficiarios son habitantes de asentamientos densamente poblados de trabajadores de bajos ingresos ubicados en zonas urbanas de concentración industrial cerca de las conurbaciones de las ciudades de Yakarta y Surabaya en Indonesia.

Antes de que se introdujeran los CSC, la infraestructura sanitaria existente consistía en drenajes abiertos para agua de lluvia y lotes baldíos utilizados para defecar y tirar la basura. Como casi nunca llega agua entubada a los asentamientos en rápido crecimiento, la mayoría de los habitantes tienen que comprar agua potable a vendedores ambulantes o ir a buscar a grandes distancias en grifos municipales.



Figura 2: Digestor de biogás (izquierda) para tratamiento de flujo parcial de “aguas negras”, construcción de tabique con repellado hermético impermeable. Reactor subdividido (*baffled*), basado en los principios anaeróbicos de flujo ascendente vertical (derecha).

Tecnología

Se han construido y están en operación 35 CSC en zonas urbanas de Tangerang y Surabaya. Cada unidad tiene aproximadamente mil visitantes al día. Las ventajas de este sistema son:

- Tratamiento integrado subterráneo de aguas residuales con tratamiento de flujos parciales de aguas “negras” y “grises” de inodoros y duchas.
- Los procesos de tratamiento anaeróbico funcionan sin entradas externas de energía.
- Bajos costos de mantenimiento, no se requieren partes movibles o equipo de alta tecnología.
- Las refacciones se consiguen en la localidad.
- La contaminación en las aguas residuales se reduce hasta 90% (DBO/DQO), reduciendo así la contaminación de aguas superficiales causadas por la emisión de aguas residuales no tratadas (Tabla 1).
- Los acuíferos no se contaminan ya que la planta de tratamiento de aguas residuales es impermeable y hermética.
- Las aguas residuales tratadas se pueden descargar en el ambiente y se utilizan parcialmente para riego o estanques de peces – según la demanda de los consumidores. Volumen \cong 35 m³/d.
- El biogás que se produce es capturado y utilizado para cocinar en las viviendas aledañas.
- Las medidas para retirar los lodos son muy esporádicas; se requiere retirar lodos sólo cada 2-3 años.
- Los lodos se recolectan y tratan en el municipio y se reutilizan para mejoramiento del suelo.

LOCALIDAD	MES	PARÁMETRO							
		pH	DBO5			DQO			SST
			Afluente mg/l	Efluente mg/l	% reducción	Afluente mg/l	Efluente mg/l	% reducción	
Alam Jaya	09/02/2001	7.28	310.89	49.52	84.07%	729.79	116.53	84.03%	48
	07/02/2001	6.34		45.60	85.33%		107.30	85.30%	28
	20/04/2001	6.78		32.90	89.42%		77.60	89.37%	36
Estándares Nacionales para Descarga de Agua (mg/l)									
Clase B			50			100			200
Clase C			150			300			400

Nota: DBO₅ = Demanda Biológica de Oxígeno (5 días), DQO = Demanda Química de Oxígeno, SST = Sólidos Suspendedos Totales

Tabla 1: Análisis de laboratorio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales

Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento están a cargo de BEST como operador concesionario.

- Las tarifas para usuarios entre 0.05 y 0.1 USD cubren los costos de operación y mantenimiento y además se utilizan como contribuciones para desarrollo social a grupos de auto-ayuda comunitarios.
- El personal de planta es responsable de la limpieza de las instalaciones.
- Expertos en saneamiento de BEST aseguran servicio y mantenimiento a los componentes del sistema.

Costos

Los costos se dan con base en los CSC implementados en Tangerang:

- **Inversión inicial** por CSC (tierra + construcción): USD 12000 –15000
- **Ganancias anuales** (cuotas de usuarios): USD 2000 –2500
- **Costos operativos anuales:**
 - Sueldos personal de limpieza USD 500
 - Electricidad USD 250
 - Materiales de limpieza USD 100
 - Contribución social USD 150
 - Gastos diversos USD 500

Costos operativos anuales totales: USD 1500

Una vez que se realiza la inversión, no se requiere más financiamiento, incluso en asentamientos de trabajadores de bajos ingresos. Si se incrementa el número de unidades, los costos se reducen. Implementar CSC en localidades más rentables (mercados, estaciones de trenes, caminos principales) podría permitir que la inversión se recupere en 10 años.

Implementación participativa de proyectos de CSC

La participación de grupos objetivo en la planificación e implementación de los proyectos constituye uno de los pilares conceptuales del enfoque de BORDA. Sin embargo, las percepciones culturales locales en relación con los procesos de toma de decisiones a nivel de grupo deben ser tomadas en cuenta.

En la práctica se ha comprobado que los sistemas de saneamiento con bases comunitarias son significativamente más sustentables, es decir, tienen mayor duración, funcionan más

eficientemente y reciben mejor mantenimiento, si realmente reflejan las preferencias de las comunidades y de las personas involucradas.

A continuación se demostrará el curso de las medidas tomadas en el proceso de implementación participativa para la introducción de CSC.



Figura 3: Sesiones de planificación comunitaria con grupos de hombres y mujeres

Métodos

Previo a que un proceso participativo de toma de decisiones pueda iniciarse, hay ciertos hechos y números que deben ser identificados (información de base) que consisten en:

Datos oficiales

- Información demográfica
- Planes de desarrollo urbano (especialmente planes de saneamiento y drenaje)
- Lineamientos políticos y declaraciones de intención en el marco del desarrollo regional

Con base en esta macro-información se debe encontrar la micro-información por medio de:

Estudios exploratorios

Inspección por cuenta de personal técnico y trabajadores sociales sobre la situación objetiva:

- identificación de necesidades aparentes indicadas por
 - la densidad de población
 - ausencia de saneamiento o saneamiento inadecuado
 - habitantes de bajos ingresos
 - descuido generalizado del medio ambiente
- situación topográfica
- situación técnica (existencia de alcantarillas, drenaje, agua entubada, electricidad)
- distribución de las tierras
- composición de la población de acuerdo con antecedentes geográficos, étnicos y religiosos (homogénea o heterogénea)

Resultados preliminares: la zona y las localidades son física, técnica y socialmente elegibles para la introducción de un CSC.

Entrevistas a cargo de trabajadores sociales/facilitadores respecto a la situación subjetiva:

- exploración de la demanda con cuestionarios pre-elaborados de muestras aleatorias:
 - los respondientes son personas involucradas
 - miembros del grupo objetivo (beneficiarios según género/edad)
 - miembros del gobierno local
- exploración de la demanda con entrevistas cualitativas:
 - los entrevistados son personas involucradas
 - beneficiarios potenciales
 - informantes clave (e.g. funcionarios locales, líderes populares)
 - grupos focales (e.g. grupos de mujeres)

Tanto los estudios cualitativos como los cuantitativos deben incluir mencionar las posibilidades de cambio y resolución de la situación, en algún momento abordar soluciones (mercadeo social) e inducir a opiniones y comentarios.

Cuando el análisis de la información de base lleve a definir zonas y comunidades elegibles (e.g. unidades vecinales) el paso subsiguiente será entrar en la forma concreta de:

El proceso de planificación y toma de decisiones

La participación de las personas involucradas, en especial miembros de los grupos objetivo (beneficiarios), durante la fase de planificación es la clave principal para el éxito de la implementación del programa.

En respuesta a las necesidades objetivas y las demandas subjetivas, BEST se acerca a los miembros de la comunidad para “socialización”, es decir, para ofrecer información explicativa sobre saneamiento, higiene y salud por un lado, y por otro lado posibilidades de solución.



El método de elección es la organización de reuniones de grupo con participantes de las comunidades elegibles.

A partir de un rango más amplio de posibles soluciones técnicas y sociales, se presenta un catálogo preseleccionado (las variables que no son viables técnica o socialmente se omiten con anterioridad), a partir del cual los miembros del grupo objetivo pueden elegir la solución técnicamente adecuada, incluyendo infraestructura, mantenimiento y factores de costos, con el apoyo de información sobre oportunidades, méritos y riesgos de cada opción técnica (elección informada). Más aún, la elección informada se ofrece tomando en cuenta el manejo de la instalación completa, es decir, la operación técnica, económica y social.

Los beneficios de elaborar y trabajar con un “Catálogo de Elección Informada” (CEI) pueden resumirse como sigue:

- informa acerca de los principales componentes de las opciones de sistemas de saneamiento – sanitario/letrina, sistema de recolección, sistema de tratamiento y eliminación/reuso – lo cual permite identificar soluciones adecuadas
- facilita el análisis de diferentes componentes de los sistemas de saneamiento en relación con las preferencias de los actores involucrados
- es una herramienta poderosa para la planificación técnica de abajo hacia arriba
- sirve como referencia para obtener información general sobre las opciones técnicas en un “vistazo”

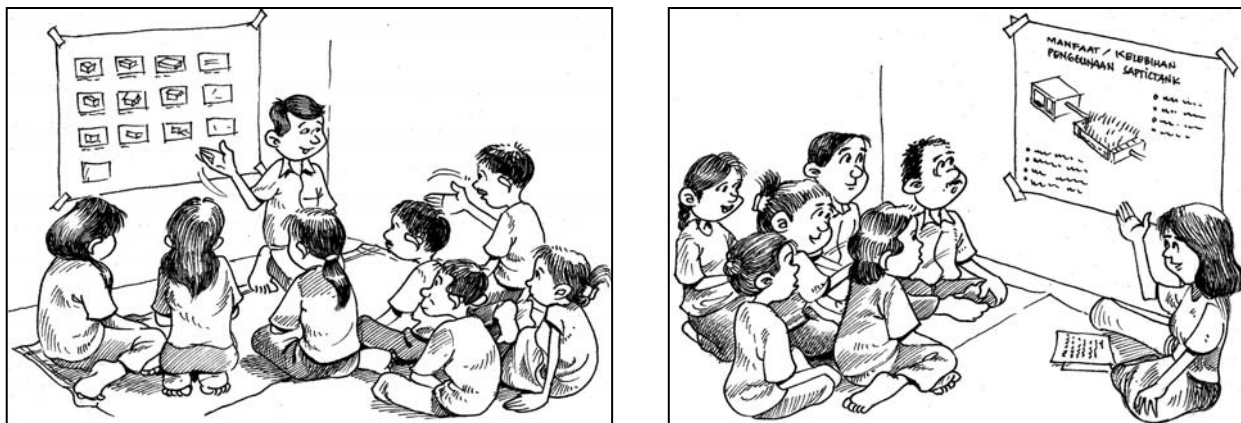


Figura 5: Catálogo de elección informada, una herramienta poderosa para la planificación de abajo hacia arriba

Después de una discusión a profundidad entre los participantes, con explicaciones adicionales ocasionales por parte del personal de BEST, el foro elige una opción factible. Con el fin de anticipar limitaciones futuras sólo se aceptan decisiones unánimes. Incluso una sola opinión sostenidamente disentida puede ocasionar que se cancele la introducción de un CSC en una zona específica. Sin embargo, mayores explicaciones por parte de BEST y de los compañeros del grupo pueden ayudar a superar opiniones disentidas. Esta es una de las razones por las cuales el proyecto BORDA/BEST ha sido reconocido como muy exitoso.

De acuerdo con evaluadores comisionados por el Ministerio Federal para la Cooperación Económica y el Desarrollo (BMZ), el proyecto BORDA es uno de los pocos ejemplos donde un enfoque así realmente funciona¹.

En este caso, las comunidades han decidido elegir el modelo MCKplus++ descrito anteriormente. Respecto al manejo de los centros, las comunidades han tomado decisiones según diferentes enfoques; al menos una comunidad decidió encargarse de la operación diaria con sus propios medios, contando con el apoyo de BEST sólo para control técnico. Sin embargo, la mayoría de las comunidades decidieron dejar el manejo del centro en manos de expertos técnicos y sociales de BEST, es decir, la implementación de un “modelo de usuario” que incluye control técnico, supervisión de la operación y mantenimiento y la responsabilidad de las cuotas de los usuarios.

En el siguiente paso, los grupos objetivo participan en la planificación técnica, organizados en un comité electo de implementación, como la elección de sitios posibles para la construcción y la planificación de la operación (personal de tiempo completo para operación y mantenimiento, decisión sobre cuotas a usuarios y su uso, etc.).

¹ Informe de la evaluación parcial “Actividades de la Asociación de Bremen para la Investigación y el Desarrollo en el Extranjero (BORDA) en Indonesia”, BMZ, Bonn, diciembre 2001

Implementación

- adquisición de tierra para la construcción (BEST con el apoyo de las sugerencias del grupo objetivo)
- planificación de la construcción (personal técnico de BEST)
- construcción (contratista local, supervisión de la obra a cargo de BEST)
- operación y mantenimiento (selección y contratación de cuidadores de tiempo completo a cargo del Comité y de BEST)
- inauguración (líderes formales y populares)
- utilización de las cuotas de los usuarios (el excedente se utiliza para el desarrollo de grupos comunitarios locales de auto-ayuda, e.g. "Posyandu" = Centro de Información y Tratamiento para la Salud y la Higiene)

Cuidado posterior y seguimiento

Posibilidades de recurrir a BEST:

- para quejas
- para sugerencias
- para reproducciones (solicitudes/propuestas de otras comunidades)

Diseminación

- en otras áreas, en este caso en Surabaya
- adopción del modelo por las instituciones gubernamentales locales (Municipio de Tangerang, Ministerio del Interior)

Resultados

Desde 1999, los principales resultados son:

- 35 Centros de Saneamiento Comunitarios "MCKplus++" se han construido en comunidades urbanas pobres
- Las instalaciones sanitarias cubren las necesidades de 17 mil personas
- Aproximadamente 13 mil m³ de aguas residuales domésticas son tratadas diariamente
- 80 hogares y los CSC utilizan biogás para cocinar (cuota por usuario = 2 USD al mes)
- Todos los lodos, después de ser tratados en plantas de tratamiento municipales, regresan a las tierras de cultivo
- Se han generado fuentes de trabajo permanentes/eventuales para más de 100 personas en los CSC y muchos artesanos.

Más aún, se ha fortalecido la capacidad de la ONG local en el campo de la diseminación e implementación de CSC, capacitación de capacitadores, actividades sociales como capacitación en salud e higiene con los grupos objetivo y por último, aunque no menos importante, la contribución a los grupos de auto-ayuda locales ha resultado en una mayor aceptación y uso de los CSC.

Impactos

La implementación y utilización de los CSC tienen un impacto positivo en la comunidad al tiempo que motivan al vecindario a mejorar su entorno inmediato por cuenta propia. Se han registrado diversos impactos en este sentido como:

- la renovación de viviendas,
- reparación de callejones, canales y zanjas y
- la construcción de instalaciones deportivas (cancha de bádmin-ton)

Conclusiones

El presente proyecto de introducir “MCKplus++” ha demostrado ser una solución comunitaria ideal para asentamientos urbanos de bajos ingresos densamente poblados donde no existen instalaciones de sanitarios, duchas ni agua potable dentro de las viviendas. Sin embargo, la participación de los beneficiarios es una condición “*sine qua non*”.

El diseño técnico del “MCK plus++” integra el tratamiento subterráneo de aguas residuales con tratamiento de flujos parciales de aguas negras y grises de sanitarios y duchas. Desde 1999, se han implementado 35 unidades en los centros urbanos de Tangerang y Surabaya con un enfoque orientado a la demanda. La operación y el servicio están a cargo del personal de tiempo completo en las instalaciones. El mantenimiento lo aseguran expertos en saneamiento de BEST. Las cuotas de los usuarios cubren los costos de operación y mantenimiento. Actualmente se reciclan los lodos digeridos, se utiliza biogás y aguas tratadas para el riego de jardines aledaños.

Se requiere mayor investigación para elaborar un catálogo de soluciones que cumplan con los principios ecosan de donde los usuarios puedan elegir. Se ha iniciado una cooperación entre la Universidad Técnica de Hamburgo-Harburgo (Prof. Otterpohl) y universidades locales socias con el fin de buscar otras mejoras y nuevas soluciones como la desviación de orina y análisis de mercado para los productos reciclados. Los nuevos desarrollos deben lidiar con la realidad cultural y social, la aceptación de los usuarios y la viabilidad económica. Son bienvenidos nuevos socios que deseen incorporarse.

Introducción a la separación de orina en Suiza: Novaquatis, un proyecto de investigación interdisciplinaria*

Judit Lienert
Tove A. Larsen

EAWAG, Instituto Federal Suizo para las Ciencias Ambientales y la Tecnología
Ueberlandstrasse 133, P.O. Box 611, CH-8600 Duebendorf, Suiza
e-mail: judit.lienert@eawag.ch
e-mail: larsen@eawag.ch

Palabras clave

Tratamiento alternativo para aguas residuales, actitudes del consumidor, sanitario de no mezcla, transferencia de tecnología, conceptos de saneamiento urbano, responsables del manejo de aguas residuales

Resumen

La exitosa separación de orina *in situ* (tecnología de No-Mezcla) presenta un reto a científicos, personas involucradas y sociedad en general. Los enfoques de baja tecnología son apropiados para zonas rurales; pero para grandes zonas urbanas – en Europa y países en vías de industrialización -- se requieren otras soluciones. NOVAQUATIS se enfoca en la tecnología de No Mezcla en hogares modernos, estrategias de transporte, metodologías para eliminación de microcontaminantes (fármacos, hormonas) y tecnologías para producir fertilizante. Los primeros resultados son prometedores: la retroalimentación de los consumidores y agricultores ha sido positiva, siempre que se mantenga una alta seguridad y comodidad a bajo costo. Para superar el efecto de encierro de este sistema se requieren estrategias de transición tecnológicamente avanzadas que permitan la implementación gradual de la tecnología de No-Mezcla dentro del sistema de aguas residuales urbanas. Las simulaciones por computadora de una estrategia con pequeños tanques de almacenamiento para orina integrados al sanitario indican un efecto positivo en la capacidad de nitrificación (+30%) y en emisiones provenientes de desbordamientos de flujos combinados (-50%). Los resultados de experimentos y modelos de precipitación de orina en las tuberías ayudarán a resolver problemas de mantenimiento debidos a obstrucciones en los sanitarios desviadores. Hasta ahora se han propuesto tecnologías para la estabilización, nitrificación, desnitrificación, recuperación de P por precipitación forzada de estruvita en orina. Se espera que la temprana implementación de la tecnología de No Mezcla en proyectos piloto y la integración de los países emergentes en nuestra investigación científica fortalezcan una transferencia de tecnología exitosa.

Introducción

Enfoques tradicionales y modernos hacia la separación de orina en el origen.

Diversos autores han propuesto la separación de orina *in situ* (tecnología de No-Mezcla) como una opción prometedora para introducir el concepto de sustentabilidad en la gestión de agua urbana (e.g. Larsen y Gujer, 1997; Otterpohl *et al.*, 1999; Larsen *et al.*, 2001a). Esta idea está despertando cada vez más el interés de las autoridades en Estocolmo, Wuppertal, Basilea, Berlín y Hamburgo, lo cual ha resultado en varios proyectos piloto (Johansson, 2001; Bastian *et al.*, 2002; Kühni *et al.*, 2002; Peter-Fröhlich, 2002; Rakelmann, 2002).

*Este documento ha sido revisado por el comité científico del simposio

En varias zonas rurales de diversas culturas se han aplicado enfoques de baja tecnología para la separación de orina y reuso de nutrientes en la agricultura. En China, la separación de orina con sanitarios sencillos y su aplicación directa como fertilizante se han practicado por milenios (Esrey *et al.*, 1998). En Dinamarca y Suecia se utilizaban sanitarios desviadores de orina a mediados del siglo XIX, una tradición que se revivió en la década de los setenta para resolver problemas de saneamiento en casas de veraneo en sitios remotos (Johansson, 2001). Fue también en Suecia donde se inventaron e instalaron por primera vez los modernos sanitarios desviadores de orina en la década de los noventa (Hellström y Johansson, 1999). Sin embargo hasta la fecha, los enfoques modernos hacia la desviación de orina tienen una aplicación limitada en zonas urbanas extensas.

Creemos que la desviación de orina ofrece muchas ventajas, no sólo en zonas rurales, sino en especial en zonas urbanas con sistemas modernos de aguas residuales – tanto en Europa como en los países en vías de industrialización. Sin embargo, en tal situación se requieren soluciones tecnológicas avanzadas y es esencial la aceptación de las principales personas involucradas, tales como consumidores y responsables del manejo de aguas residuales (Larsen y Lienert, 2002). El desarrollo de nueva tecnología, la integración de la tecnología de No-Mezcla en el sistema existente de aguas residuales y la participación de la sociedad representan un reto para todos los actores involucrados. Estos son los temas del proyecto de investigación interdisciplinaria NOVAQUATIS.

¿Por qué la desviación de orina?

Cerrar el ciclo de nutrientes: La razón tradicional para la desviación de orina es el reciclaje de nutrientes en la agricultura. La orina contiene la mayoría de los nutrientes excretados por humanos: aprox. 85–90% de nitrógeno (N), 50–80% de fósforo (P), y 80–90% de potasio (K); Larsen y Gujer, 1996). En la agricultura moderna, el reuso de nutrientes a partir de la orina podría reemplazar parcialmente el uso de fertilizantes minerales sintéticos; en Suiza esto podría equivaler a aprox. 37% de N, 20% de P, y 15% de K (Lienert *et al.*, 2003). Un segundo argumento importante es la limitada disponibilidad de fosfato mineral que podría agotarse en 200–300 años (basado en Jasinski, 2002). Ya en la actualidad, la ciencia y la industria del fosfato buscan la manera de reciclar P de residuos; reciclarlo de la orina puede resultar mucho más fácil que de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Más aún, la producción de fertilizantes minerales ocasiona residuos problemáticos y consume grandes cantidades de energía. Reciclar el N de la orina puede también resultar ventajoso desde un punto de vista energético (Maurer *et al.*, 2003).

Ahorrar agua: Los sanitarios de No-Mezcla ayudan a ahorrar grandes cantidades de agua potable, ya que se requiere muy poca agua – o nada – para desaguar la orina. Muchos países emergentes enfrentan severos problemas de escasez de agua, al tiempo que los sanitarios de arrastre de agua son símbolos deseados de progreso. Debido a que la expansión y mantenimiento de tuberías y plantas de tratamiento de aguas residuales frecuentemente no mantienen el paso del incremento en el uso de sanitarios de arrastre de agua, exportar tecnología occidental convencional puede resultar en una mayor escasez de agua, severos problemas higiénicos y eutrofización de aguas superficiales. A largo plazo, la introducción de un sanitario de bajo consumo de agua será beneficiosa para países industrializados y naciones emergentes por igual.

Ventajas para el sistema urbano de tratamiento de aguas residuales: La tecnología de No-Mezcla ofrece varias ventajas: (1) la orina constituye aproximadamente 1% de las aguas residuales, pero su eliminación requiere diversos pasos ya que contiene la mayoría de los nutrientes. Los procesos de nitrificación y precipitación de P no serían necesarios con una efectiva separación de orina (Larsen y Gujer, 1996) y permitiría reducir el tamaño de las plantas de tratamiento. (2) La mayoría de los países industrializados transportan aguas residuales y de

lluvia en el mismo drenaje y descargan esta mezcla directamente en aguas superficiales a causa de desbordamientos de estos flujos combinados durante las temporadas de lluvia. La recolección separada de orina podría reducir la toxicidad crónica y aguda debida a compuestos de N, eutrofización por P y N y el agotamiento de oxígeno debido a la nitrificación. (3) Los microcontaminantes (fármacos, hormonas) no se eliminan del todo en las plantas de tratamiento. A la fecha se han encontrado más de 80 compuestos en aguas residuales, aguas superficiales e incluso en acuíferos (Heberer, 2002). Si bien se desconoce en gran medida su impacto potencial en el ambiente (Länge y Dietrich, 2002), cada vez hay más preocupación por los microcontaminantes. Ya que muchos fármacos metabolizados son excretados por vía de la orina, la tecnología de No-Mezcla mejoraría el control de la contaminación del agua también en relación con los microcontaminantes, en especial si se combina con otras medidas de separación *in situ*, por ejemplo en la agricultura.

Métodos

El proyecto de investigación interdisciplinaria NOVAQUATIS

NOVAQUATIS se enfoca en la tecnología de No-Mezcla para viviendas modernas, estrategias de transporte para grandes zonas urbanas, metodologías para eliminación de microcontaminantes y soluciones técnicas para elaborar un producto nutriente alternativo a partir de orina para la agricultura o la industria. Se incluyen la investigación socio-económica, las ciencias naturales,

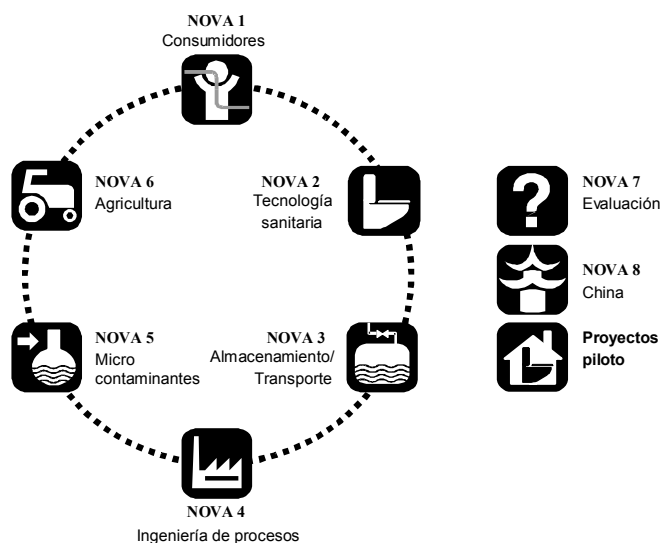


Figura 1: El ciclo de nutrientes antropogénicos como sería si la orina se separa en el origen y se regresa a la agricultura como fertilizante. NOVA 1–8 son paquetes de trabajo.

interdisciplinario. Los proyectos piloto asociados permiten realizar pruebas de separación de orina en el mundo real y beneficiarse directamente de los resultados de investigación en NOVA 1–8. La integración de las naciones emergentes en una etapa temprana pretende fortalecer una exitosa transferencia de tecnología. NOVAQUATIS opera desde 2000 hasta 2005. Este documento ofrece un primer acercamiento a los resultados obtenidos hasta ahora (ver Lienert y Larsen, 2002 para un resumen en alemán).

Resultados

Aceptación de la tecnología de No-Mezcla por los principales involucrados (Nova 1, 6)

Investigaciones preliminares revelan una alta aceptación de la separación de orina y reutilización de nutrientes entre los consumidores (NOVA 1) y agricultores (NOVA 6). La actitud de los ciudadanos suizos se evaluó con grupos focales (Pahl-Wostl *et al.*, 2003). Los 44 participantes se informaron de la tecnología de No-Mezcla utilizando una herramienta específica de cómputo (www.novaquatis.eawag.ch/ NoMix Tool) y visitaron sanitarios desviadores de orina en EAWAG. Los grupos se reunieron dos veces para discusiones y respondieron un cuestionario. En general mostraron actitudes positivas hacia la tecnología de No-Mezcla: 89% mujeres y 71% hombres se refirieron al sanitario desviador como una buena o muy buena idea. La mayoría vivirían en un apartamento con sanitario desviador (79% mujeres, 88% hombres) y muchos estaban interesados en adquirir un sanitario así (63% mujeres, 42% hombres). Estaban muy interesados en aspectos prácticos de los sanitarios desviadores (e.g. diseño, limpieza) y los hombres particularmente preguntaron sobre detalles técnicos. Llamó la atención que sólo 16% de los hombres consideraran problemático sentarse para orinar. El funcionamiento adecuado de los sanitarios desviadores depende de esta condición y frecuentemente es un argumento central en contra de su introducción.

Estos resultados no son representativos ya que los participantes tenían mayor conciencia ambiental que el ciudadano promedio. Sin embargo, si indican que existe buena voluntad e interés hacia la tecnología de No-Mezcla y que es posible informar a un público lego sobre asuntos tecnológicos complicados. Más aún, los consumidores no quieren asumir mayores costos o mantenimiento, al tiempo que mantener el nivel actual de confort y estética es fundamental. También se interrogó a los participantes respecto a sus actitudes hacia la comida fertilizada con orina. En efecto, 72% estaban dispuestos a consumirlos regularmente, al tiempo que mencionaron los impactos positivos a los ecosistemas a corto plazo (i.e. control de contaminación del agua) como aspectos especialmente convincentes de la tecnología de No-Mezcla. Para aceptar un fertilizante a base de orina, es absolutamente esencial que sea un producto libre de riesgos. Por lo tanto se considera que una adecuada higienización y eliminación de microcontaminantes es extremadamente importante para la difusión a gran escala de productos fertilizantes a base de orina.

Esta opinión la comparten 127 agricultores suizos en un estudio por correo (Lienert *et al.*, 2003). Una vez más, los resultados no son del todo representativos, ya que la tasa de respuestas varió entre diferentes grupos de agricultores. Los 467 agricultores elegidos al azar fueron informados con una carta y respondieron preguntas sobre detalles personales, sus opiniones hacia fertilizantes a base de orina y demandas de nutrientes. La aceptación de la tecnología de No-Mezcla resultó sorprendentemente alta: 57% pensaban que era una (muy) buena idea y 42% comprarían un fertilizante a base de orina si fuera accesible. Las posibilidades de mercado son mayores entre agricultores con altas demandas nutrientes (i.e. producción integrada, hortalizas). Prefirieron un fertilizante con nitrato de amonio y granulado en lugar de líquido. Al igual que los consumidores, los agricultores se preocuparon por sustancias peligrosas en el fertilizante: 30% de todos los agricultores mencionaron preocupaciones relacionadas a microcontaminantes. De modo que nuestros primeros estudios indican que la tecnología de No-Mezcla es aceptable para los suizos siempre que los costos sean bajos, pero que los estándares de confort y seguridad sean altos. Aunque la actitud de consumidores y agricultores es importante, un análisis reciente indica que no es la fuerza motora para una introducción exitosa y rápida difusión de la tecnología de No-Mezcla (Larsen y Lienert, 2002). La opinión de los principales responsables de tomar decisiones en torno al manejo de aguas residuales (e.g. ingenieros, autoridades) es absolutamente crucial. Ellos tendrán que introducir el nuevo concepto y asumir consecuencias e inconvenientes. Por lo tanto se requiere un fuerte compromiso por parte de los responsables del manejo de aguas residuales. Nuestro análisis indica que las estrategias tecnológicamente avanzadas, enfocadas en una implementación gradual de la tecnología de No-Mezcla en los sistemas existentes pueden ser mucho más atractivas para los responsables del manejo de aguas residuales que los enfoques de más baja tecnología (ver NOVA 3).

NOVA	Paquetes de Trabajo	Alianzas
1 Consumidores	Aceptación de la tecnología de No-Mezcla. ¿Cuáles son las actitudes de los consumidores respecto a los sanitarios desviadores y los fertilizantes a base de orina? Tradicionalmente los ingenieros especialistas desarrollaron tecnologías de aguas residuales sin la participación del público. Obviamente, esto resulta inadecuado para la separación de orina en los hogares. Por eso NOVAQUATIS incluye a los actores involucrados desde una etapa temprana del proceso de investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Ruth Kaufmann-Hayoz, IKAOE, Univ. de Berna, Suiza • Proyectos piloto
2 Tecnología sanitaria	¿Funciona la tecnología sanitaria? Fabricantes de muebles y accesorios sanitarios – en cooperación con EAWAG – exploran asuntos de diseño relacionados con la tecnología de No-Mezcla en cuartos de baño. Adicionalmente en EAWAG se estudia detalladamente el problema de la precipitación que puede ocasionar obstrucciones en tuberías de orina. Este paquete de trabajo también relaciona información entre fabricantes y proyectos participantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Ralf Otterpohl, Univ. Tec. Hamburgo-Harburgo, Alemania • Empresas sanitarias • Proyectos piloto
3 Almacenaje/transporte	Almacenaje y transporte de orina. Todavía deben responderse preguntas sobre el almacenaje y transporte de la orina. La investigación se centra principalmente en escenarios de transición que permitan integrar la tecnología de No-Mezcla dentro del sistema actual de manejo de aguas residuales urbanas, sin necesidad de renovar todo el sistema. Por lo tanto, NOVA 3 investiga diferentes estrategias de transportación de orina en los sistemas de drenaje existentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Wolfgang Rauch, Dpto. de Ingeniería Ambiental, Univ. Innsbruck, Austria • Proyectos piloto
4 Ingeniería de procesos	Procesamiento de orina y producción de fertilizante. Se están desarrollando y probando diferentes procedimientos para estabilizar orina, recuperar nutrientes (N, P, K) y eliminar microcontaminantes. Tecnologías posibles son procesos biológicos (e.g. reactores con bio-películas), procesos químicos (e.g. precipitación en reactores con camas fluidificadas y procesos físicos (e.g. tecnologías de membrana).	<ul style="list-style-type: none"> • Univ. de Ciencias Aplicadas, Basilea (FHBB), Suiza
5 Microcontaminantes	¿Los microcontaminantes en la orina son un problema? Los microcontaminantes son fármacos y hormonas excretadas vía orina. Se están analizando los efectos ecotoxicológicos de sustancias aisladas y combinadas en sistemas de pruebas biológicas <i>in vitro</i> . Avanzados métodos analíticos químicos permiten la cuantificación del proceso de degradación de los microcontaminantes en muestras de orina tratadas con diferentes métodos de ingeniería de procesos en NOVA 4.	
6 agricultura	¿Orina como fertilizante? Se planeó estimar qué tan grande podía ser la demanda de fertilizante a base de orina en la agricultura – especialmente en agricultura integrada y orgánica – y generar balances de nutrientes. La actitud de los agricultores hacia dicho fertilizante también se está investigando en NOVA 6.	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo se podrá hacer una parte muy limitada por falta de recursos financieros
7 Evaluación	Evaluación de la tecnología de No-Mezcla. NOVA 7 integra los resultados de investigaciones realizadas en otros paquetes de trabajo y cubre algunos temas adicionales. El objetivo es evaluar integralmente las consecuencias de la separación de orina en su origen. La tecnología de No-Mezcla será evaluada con ayuda de un análisis de escenarios, el cual asume distintos niveles de implementación. Esta evaluación proporcionará información a quienes toman decisiones y permitirá la adaptación a diferentes contextos.	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos piloto
8 China	¿Tecnología de No-Mezcla también para naciones emergentes como China? En las naciones emergentes, la introducción de sanitarios WC frecuentemente tiene severos impactos en el ambiente ya que muy rara vez se acompaña con adecuadas medidas de control de contaminación. NOVA 8 adapta los resultados de otros paquetes de trabajo a esta situación especial e investiga si la implementación de la separación de orina <i>in situ</i> en naciones emergentes contribuiría a mejorar las condiciones del agua superficial.	<ul style="list-style-type: none"> • Univ. de Kunming, China • Fundación Nacional de Ciencia de Suiza (SNF) • Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo (SDC)
Proyectos piloto	¿La tecnología de No-Mezcla funciona en la vida real? Para evaluar la tecnología en la realidad, se están llevando a cabo diversos proyectos piloto en ambientes privados e institucionales. En 2001 se equiparon cuatro apartamentos en un complejo habitacional en una ciudad suiza con sanitarios de No-Mezcla. Asimismo, EAWAG y la FHBB están probando algunos sanitarios de No-Mezcla. AIB en Basel-Landschaft (BL) está planeando proyectos piloto más grandes. Por ejemplo, se planea equipar totalmente la librería municipal en Liestal con sanitarios de No-Mezcla.	<ul style="list-style-type: none"> • "Bau- und Umweltschutzdirektion" (BUD), BL • "Amt für Industrielle Betriebe" (AIB), BL • Univ. de Ciencias Aplicadas, Basilea (FHBB)

Tabla 1: Los paquetes de trabajo de NOVAQUATIS (NOVAS) y las alianzas con proyectos asociados de EAWAG

Responsables del saneamiento y tecnología: precipitaciones (NOVA 2)

NOVAQUATIS lleva varios años en contacto con profesionales sanitarios. En el mercado existen diferentes sanitarios desviadores de orina, sin embargo, estudios actuales entre los usuarios indican que todavía hay por resolver diversos problemas relacionados al diseño. El principal problema es que las tuberías de orina se tapan debido a la precipitación, lo cual difícilmente aceptarían usuarios en Suiza. Aparentemente, los responsables del saneamiento sólo asumirían los costos del desarrollo tecnológico necesario si existen altas oportunidades de mercado (Larsen y Lienert, 2002). Las precipitaciones se investigaron intensamente (Udert *et al.*, 2003 b, c, d). Una gran fracción de fósforo está incorporada en los precipitados. Los principales compuestos cristalinos son estruvita, hidroxapatita y calcita. La composición depende de la dilución con agua para arrastre; simulaciones por computadora indican que la dilución reduce el potencial de precipitación y con esto el riesgo de obstrucciones. El agua de lluvia es más efectiva que la de la llave. La degradación microbiana de la urea acelera la precipitación; las bacterias crecen principalmente en las tuberías y son arrastradas al tanque. En orina sin diluir, la degradación de sólo 8% de la urea resultó en 95% del potencial máximo de precipitación. Se requieren pocos días para que se consuma toda la urea y la precipitación comienza poco después de que ha iniciado la ureólisis. La estruvita y el octacalcio de fosfato son los minerales precipitadores en la orina sin diluir. Los resultados muestran que no hay soluciones fáciles para superar el problema de las obstrucciones en las tuberías para orina. El manejo efectivo de los precipitados de orina requiere todavía grandes esfuerzos e ingenio tecnológico.

Integrar la tecnología de No-Mezcla en el sistema de aguas residuales urbanas (NOVA 3)

El objetivo final de la tecnología de No-Mezcla es obtener un producto nutriente atractivo para su aplicación en la agricultura o industria. NOVAQUATIS propone recolectar la orina en los hogares y utilizar el sistema de drenaje existente para transportarla durante las noches sin lluvia (Larsen y Gujer, 1996). El control en tiempo real aseguraría que la orina llegue lo más concentrada posible a la planta de tratamiento de aguas residuales, donde podría tratarse por separado. Para los días de lluvia se necesitaría un tanque de almacenamiento para 3-7 días. Un sistema así facilita la introducción paulatina y efectiva en costos de la tecnología de No-Mezcla, lo cual permite aprendizaje tecnológico y desarrollo gradual.

Todavía no se desarrollan tecnologías apropiadas para procesar la orina en un producto nutriente atractivo (pero ver NOVA 4, 5). Por lo tanto, NOVAQUATIS también propone un escenario de transición que permita integrar tecnología de No-Mezcla en el sistema actual, mejorando así la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Un escenario posible consiste en un pequeño tanque de orina integrado al sanitario para almacenaje por 1-2 días. El transporte de la orina es también a través del drenaje existente, aunque sin procesarse en un producto nutriente. Aquí los objetivos principales son (1) nivelar las dinámicas del nitrógeno en la planta de tratamiento causadas por las variaciones diurnas en la producción de orina y (2) evitar la presencia de orina en los desbordamientos en caso de lluvias (Larsen *et al.*, 2001b; Rauch *et al.*, 2003). Modelos estocásticos con volúmenes reales de tanques de almacenaje (10 litros/sanitario) proporcionaron resultados prometedores: podría evitarse más de 50% de la orina liberada en los desbordamientos y los niveles más altos de amoníaco en temporadas secas podrían reducirse aprox. 30%. Esto último aumenta la capacidad nitrificadora de la planta de tratamiento en la misma proporción (Rauch *et al.*, 2003). Ya que esta versión sólo implica un sanitario nuevo, sin nuevas tuberías, grandes tanques de almacenaje y complicadas plantas de procesamiento, podría implementarse rápidamente y relativamente a bajo costo. Esto permite una difusión más rápida de tecnología de No-Mezcla, con un mínimo de riesgos y – una vez más – amplio margen para aprendizaje tecnológico. Por

lo tanto, consideramos este escenario de transición como la solución más prometedora para la introducción inmediata de la tecnología de No-Mezcla en un contexto urbano moderno.

Procesamiento de orina para producir fertilizante sin microcontaminantes (NOVA 4, 5)

La orina fresca (pH 6.2–6.8) tiene una gran cantidad de sustrato biodegradable que provoca un rápido crecimiento microbiano. Una reacción dominante es la hidrólisis de urea catalizada por microbios, la cual resulta en producción de amoníaco y un incremento en el pH (>9). Como resultado, se excede la saturación de varios minerales con fosfato y se precipitan (NOVA 2). Esto podría permitir la recuperación de nutrientes (P, algo de N) como sólidos. Existen varias tecnologías de eliminación para soluciones de nutrientes, pero su adaptación a la orina requiere esfuerzos (Larsen y Boller, 2001; Maurer *et al.*, 2003). Se están desarrollando diferentes procedimientos para estabilizar orina, recuperar nutrientes y eliminar microcontaminantes (NOVA 4). Una primera tecnología propuesta se basa en biotecnología conocida (Udert *et al.*, 2003a): con tratamiento biológico de orina (incluyendo nitrificación parcial) se estabilizó el pH, esto ayuda a evitar problemas de corrosión y de evaporación de amoníaco y permite así su aplicación en la agricultura. Otra opción fue desnitrificar la orina por medio de nitrificación y oxidación anaeróbica de amonio. Una posible tecnología para la recuperación de P en orina es presentado por separado en este simposio: precipitación forzada de estruvita ($MgNH_4PO_4$; Ronteltap *et al.*, presentado).

Siguen en desarrollo tecnologías de procesos y métodos analíticos para detectar microcontaminantes en orina. El riesgo ecotoxicológico de los microcontaminantes se evalúa con una batería de pruebas basadas en mecanismos. Incluye sistemas de pruebas no específicas, que permiten cuantificar la citotoxicidad general y calcular la carga molar total de tóxicos (Escher *et al.*, 2002). También incluye pruebas para modos específicos de acción tóxica (e.g. trastornos endocrinos, inhibición de fotosíntesis, daños al ADN). Después de ser validada con compuestos aislados y mezclas designadas, la batería de pruebas se utiliza para probar el potencial ecotóxico de los productos tratados por NOVA 4. Dos proyectos con orientación química en NOVA 5 están cooperando muy de cerca con proyectos europeos de investigación (Eggen *et al.*, presentado) y adaptan métodos analíticos de aguas residuales para la orina. Esto permite cuantificar el proceso de degradación de los microcontaminantes en muestras de orina procesadas por NOVA 4.

¿Podría la tecnología de No-Mezcla ser una opción para naciones emergentes como China (NOVA 8)?

El control de flujos en su origen puede ofrecer una alternativa al manejo de aguas residuales de “fin de tubería” en naciones emergentes. La tecnología de No-Mezcla tiene un gran potencial para mejorar condiciones desoladas de aguas superficiales. En casos donde no exista un sistema de drenaje existe mayor grado de libertad para la planificación de procesos que en un típico país europeo. Se eligió Kunming como región piloto. Los primeros resultados de una metodología para aguas residuales y análisis de flujos de masa contaminantes en naciones emergentes se presentan por separado (Huang *et al.*, presentado). El reto aquí es tomar en cuenta las incertidumbres específicas, principalmente la falta de información y el acelerado desarrollo urbano. La metodología se está probando en Zurich y posteriormente será implementada en Kunming. Los resultados sentarán las bases para un proyecto adicional que investigue las posibilidades técnicas e institucionales para introducir medidas de control de flujos *in situ* en el manejo de aguas residuales en el Sureste Asiático.

Proyectos piloto para probar la tecnología de No-Mezcla en el mundo real

Actualmente se llevan a cabo varios proyectos piloto pequeños en escenarios privados e institucionales en Suiza: (A) en 2001, cuatro apartamentos en un complejo habitacional municipal en una gran ciudad se equiparon con sanitarios de No-Mezcla. La idea principal es evaluar la aceptación social y problemas de diseño de los sanitarios desviadores de orina en las viviendas y probar su funcionalidad en la vida cotidiana (NOVA 1). Además, un modelo estocástico de simulación de un caso de desviación de orina está siendo desarrollado para comprender los procesos relacionados con almacenaje y transportación (NOVA 3). (B) Se han instalado varios sanitarios de No-Mezcla y sanitarios secos en EAWAG desde 1997, principalmente para recolectar muestras de orina (NOVA 4, 5) e información sobre su precipitación en tuberías (NOVA 2). Los sanitarios de No-Mezcla se utilizaron también para los estudios sociológicos con grupos focales y actualmente con usuarios de largo plazo (NOVA 1). (C) La Universidad de Ciencias Aplicadas de Basilea (FHBB) instaló algunos sanitarios de No-Mezcla y mingitorios sin agua en un colegio vocacional en 2002. El principal objetivo es evaluar los modelos de sanitarios disponibles en el mercado y adquirir experiencia con las tuberías y tanques de almacenamiento de orina. La actitud de los usuarios se está evaluando con estudios cuantitativos (NOVA 1). (D) Por último, las autoridades municipales de Basel-Landschaft (BL) han iniciado un gran proyecto de separación de orina (Kühni *et al.*, 2002). El objetivo general es evaluar alternativas más flexibles y sustentables en el manejo de aguas residuales urbanas, con énfasis en el diseño de los residuos y la separación de orina. Con base en experiencias de otros proyectos, la tecnología de No-Mezcla será implementada a escala técnica en la librería municipal de Liestal (BL) en 2005. Actualmente se construye un modelo de microsimulación para simular flujos de materiales y costos directos asociados a diferentes escenarios de penetración de mercado de la tecnología de No-Mezcla (NOVA 7). El modelo se basa en información de un censo residencial suizo en una región urbana modelo y una rural. El modelo simula la distribución espacial y temporal de la producción de orina y la adopción de la tecnología de No-Mezcla a lo largo del tiempo (Peters *et al.*, 2002). (E) Según los resultados positivos de las pruebas en el mundo real y las simulaciones por computadora, la tecnología de No-Mezcla será implementada en toda la zona de captación de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales en BL.

Conclusiones

La investigación interdisciplinaria es a la vez un reto y una oportunidad. La investigación interdisciplinaria detallada dentro de NOVAQUATIS ha proporcionado algunas respuestas prometedoras a las mayores preguntas sobre técnicas de ingeniería y sociología asociadas a la separación de orina *in situ*. Por ejemplo, la retroalimentación de usuarios y agricultores fue positiva, con la condición de que se mantengan los estándares de seguridad y confort a bajo costo. Si bien estos actores son importantes, un tercer grupo puede resultar absolutamente crucial para la introducción exitosa y rápida difusión de la separación de orina *in situ*: los responsables del manejo de las aguas residuales. Las estrategias de transición tecnológicamente avanzadas que permitan una implementación gradual de la tecnología de No-Mezcla en el sistema actual de aguas residuales ayudarán a superar la situación actual de encierro. NOVAQUATIS propone tales escenarios de transición. La tecnología de No-Mezcla puede ponerse a prueba directamente en el mundo real a través de proyectos pilotos en fases iniciales. Del mismo modo, la integración temprana de países emergentes como China en el proceso de investigación puede propiciar una transferencia de tecnología más efectiva desde las regiones industrializadas a las regiones en creciente industrialización; mientras que una transferencia de tecnología exitosa puede por su parte promover la idea de la tecnología de No-Mezcla en nuestros centros urbanos altamente industrializados. La continua investigación

disciplinaria con la integración de resultados a nivel interdisciplinario contribuirá a encontrar alternativas sustentables en la gestión urbana de aguas residuales.

Referencias

- Bastian, A., G. Schirmer, J. Londong: Zukunftsfähiges Abwassermanagement, Workshop in der Lambertsmühle, KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall, 49 (10), 2002, pp. 1339-1342
- Eggen R.I.L., B.-E. Bengtsson, C.T., Bowmer, M. Gibert, A. Gerritsen, K. Hylland, A.C. Johnson, P. Leonards, T. Nakari, L. Norrgren, J.P. Sumpter, M.J.-F. Suter, A. Svenson, A.D. Pickering: Search for the evidence of endocrine disruption in the aquatic environment; lessons to be learned from joint biological and chemical monitoring in the EU project COMPREHEND (Búsqueda de evidencias de trastornos endocrinos en el ambiente acuático; lecciones por aprenderse en el monitoreo biológico y químico conjunto del proyecto COMPREHEND de la UE), *Pure & Applied Chemistry*, subm.
- Escher, B., R.I.L. Eggen, U. Schreiber, Z. Schreiber, E. Vye, B. Wisner, R.P. Schwarzenbach: Baseline toxicity (narcosis) of organic chemicals determined by *in vitro* membrane potential measurements in energy-transducing membranes (Toxicidad de base (narcosis) de químicos orgánicos determinada por mediciones *in vitro* del potencial de membrana en membranas transductoras de energía), *Environmental Science & Technology*, 36, 2002, pp. 1971-1979
- Esrey, S.A., J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hébert, J. Vargas, U. Winblad: Ecological Sanitation (Saneamiento ecológico). Asdi, Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Estocolmo, 1998
- Heberer, T.: Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data (presencia, destino y eliminación de residuos farmacéuticos en ambiente acuático: una revisión de información en investigaciones recientes), *Toxicology Letters*, 131, 2002, pp. 5-17
- Hellström, D., E. Johansson: Swedish experiences with urine separating systems (Experiencias suecas con sistemas separadores de orina), *Wasser & Boden*, 51 (11), 1999, pp. 26-29
- Huang, D., R. Schertenleib, H. Siegrist, T.A. Larsen, W. Gujer: Developing a tool for assessing existing and alternative measures of urban water management in fast growing emerging countries (Desarrollo de una herramienta para evaluar medidas existentes y alternativas de gestión de agua urbana en países en desarrollo con crecimiento acelerado). Presentado en el simposio 'ecosan – cerrando el ciclo', Lübeck 2003.
- Jasinski, S.M.: U.S. Geological Survey Mineral Yearbook 2002 (Estudio geológico, anuario mineral 2002), sjasinsk@usgs.gov, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/index.html, última actualización 2002
- Johansson, M.: Urine separation – closing the nutrient cycle (Separación de orina – cerrando el ciclo de nutrientes), Informe final, Compañía de Agua de Estocolmo, Estocolmo, Suecia, 2001
- Kühni, M., G. Koch, E. Ott: Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab, *gwa (Gas Wasser Abwasser)*, 11, 2002, pp. 827-835
- Länge, R., D. Dietrich: Environmental risk assessment of pharmaceutical drug substances – conceptual considerations (Análisis de riesgo ambiental de sustancias farmacológicas – consideraciones conceptuales), *Toxicology Letters*, 131, 2002, pp. 97-104
- Larsen, T.A., M. Boller: Perspectives of nutrient recovery in DESAR concepts (Perspectivas de recuperación de nutrientes en modelos DESAR), en Lens, P., G. Zeeman, G. Lettinga (Eds), *Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation, Integrated Environmental Technology Series*, IWA Publishing, 2001, pp. 387-410
- Larsen, T.A., W. Gujer: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine) (Manejo separado de soluciones antropogénicas nutrientes [orina humana]), *Water Science & Technology*, 34 (3-4), 1996, pp. 87-94

- Larsen, T.A., W. Gujer: The concept of sustainable urban water management (El concepto de gestión sustentable de agua urbana). *Water Science & Technology* 35 (9), 1997, pp. 3-10.
- Larsen, T.A., J. Lienert: Societal implications of re-engineering the toilet (Implicaciones sociales de la reingeniería del sanitario), memorias de la serie de conferencias de punta de IWA 'Sustainability in the Water Sector', Venecia 2002, p. 29.
- Larsen, T.A., I. Peters, A. Alder, R.I.L. Eggen, M. Maurer, J. Muncke: Re-engineering the toilet for sustainable waste water management (Reingeniería del sanitario para un manejo sustentable de aguas residuales), *Environmental Science & Technology*, mayo 1, 2001a, 193A-197A
- Larsen, T.A., W. Rauch, W. Gujer: Waste design paves the way for sustainable urban wastewater management (El diseño de los residuos allana el camino para un manejo sustentable de las aguas residuales), en: *Memorias del simposio internacional de la UNESCO 'Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?'*, UNESCO, París 2001b, pp. 219-229
- Lienert, J., T.A. Larsen: Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *gwa (Gas Wasser Abwasser)*, 11, 2002, pp. 819-826
- Lienert, J., M. Haller, A. Berner, M. Stauffacher, T.A. Larsen: How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine) (Percepción de los agricultores en Suecia respecto a los fertilizantes con nutrientes antropogénicos reciclados [orina]) *Water Science & Technology* 48 (1), 2003, pp. 47-56
- Maurer, M., P. Schwegler, T.A. Larsen: Nutrients in urine: energetical aspects of removal and recovery (Nutrientes en la orina: aspectos energéticos de eliminación y recuperación), *Water Science & Technology* 48 (1), 2003, pp. 37-46
- Otterpohl, R., A. Albold, M. Oldenburg: Source control in urban sanitation and waste management: Ten options with resource management for different social and geographical conditions (Control de flujos en su origen en el saneamiento urbano y manejo de desechos: Diez opciones con manejo de recursos para diferentes condiciones geográficas y sociales), *Water Science & Technology*, 39 (5), 1999, 153-160
- Pahl-Wostl, C., A. Schönborn, N. Willi, J. Muncke, T.A. Larsen: Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation (Investigación de las actitudes de los consumidores hacia la nueva tecnología de separación de orina). *Water Science & Technology* 48 (1), 2003, pp. 57-65
- Peter-Fröhlich, A.: Sanitation Concept for Separate Treatment (SCST) (Modelo de saneamiento para tratamiento separado), anton.peter-froehlich@bwb.de, http://www.kompetenz-wasser.de/dt/projekte/proj_scst.html, 2002
- Peters, I., K-H. Brassel, C. Spörri: A microsimulation model for assessing urine flows in urban wastewater management (Un modelo de microsimulación para analizar los flujos de orina en el manejo de aguas residuales urbanas), en: Rizzoli, A.E., A.J. Jakemann (Eds), *Integrated Assessment and Decision Support*, memorias de la primera reunión de Intern. Environm. Modelling and Software Soc., 2002, pp. 508-513
- Rakelmann, U.V.: Alternative Sanitärkonzepte in Ballungsräumen, in: IFAT 2002, 12. Europäisches Wasser-, Abwasser- und Abfallsymposium, 2002
- Rauch, W., D. Brockmann, I. Peters, T. Larsen, W. Gujer: Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production (Combinación de separación de orina y diseño de residuos: un análisis con un modelo estocástico de producción de orina), *Water Research*, 37, 2003, pp. 681-689
- Ronteltap, M., M. Biebow, M. Maurer, T.A. Larsen: Precipitating struvite from source separated urine using different magnesium compounds (Precipitación de estruvita en orina separada *in situ* utilizando diferentes compuestos de magnesio), presentado en el simposio 'ecosan – closing the loop', Lübeck 2003.
- Udert, K.M., C. Fux, M. Münster, T.A. Larsen, H. Siegrist, W. Gujer: Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine (Nitrificación y desnitrificación autotrófica de la orina separada *in situ*). *Water Science & Technology* 48 (1), 2003a, pp. 119-130

- Udert, K.M., T.A. Larsen, M. Biebow, W. Gujer: Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system (Hidrólisis y dinámica de precipitación de la urea en un sistema de recolección de orina), *Water Research* 37, 2003b, pp.2571-2582
- Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer: Biologically induced precipitation in urine-collecting systems and urinal traps (Precipitación biológicamente inducida en sistemas de recolección de orina y mingitorios), *Water Science & Technology: Water Supply* 3 (3), 2003c, pp. 71-78
- Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer: Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems (Estimación del potencial de precipitación en sistemas de recolección de orina). *Water Research* 37, 2003d, pp. 2667-2677