Memoria del Simposio Internacional

Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Canadian International Development Agency
Agence canadienne de développement international

wsp water and sanitation program

Diciembre 2004

Memoria del Simposio Internacional

Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades

Diciembre 2004

Misión del PAS

Apoyar a la población más pobre a obtener acceso sostenido a servicios de agua y saneamiento mejorados.

Socios donantes del PAS

Los gobiernos de Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Holanda, Irlanda, Japón, Luxemburgo, Noruega, Reino Unido, Suecia, Suiza, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Banco Mundial.

Reconocimientos

Esta publicación ha sido posible gracias a la contribución de las siguientes personas e instituciones:

DEZA DIREKTION FÜR ENTWICKLUNG UND ZUSAMMENARBEIT
DDC DIRECTION DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA COOPÉRATION
DSC DIREZIONE DELLO SVILUPPO E DELLA COOPERAZIONE
SDC SWISS AGENCY FOR DEVELOPMENT AND COOPERATION
COSUDE AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN

Organización Panamericana de la Salud
Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud
ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CEPIS/OPS

Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe (PAS-LAC)
Francois Brikke, Director Regional
Rafael Vera, Coordinador de País - Perú
Oscar Castillo, Especialista en Desarrollo Institucional y Comunitario
Jorge Luis McGregor, Especialista en Modelos de Gestión

Preparación del reporte: Alfonso Alvéstegui, Consultor
Revisión técnica: Ricardo Rojas, Asesor Técnico Senior CEPIS
Cuidado de la edición y producción: Beatriz Schippner, Especialista Regional de Comunicaciones PAS-LAC
Asistencia de producción: Luciana Mendoza, Asistente de Comunicaciones PAS-LAC
Diseño: Fabiola Pérez Albela (3210285 - 4206881)
Impreso en Perú por Stampa Gráfica

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas son exclusivamente del autor y no deben ser atribuidas de ninguna manera al Banco Mundial, a sus organizaciones afiliadas, o a miembros de su Junta de Directores Ejecutivos o las compañías que ellos representan.

Contenido

Lista de tablas y figuras 6

Abreviaturas y equivalencias de monedas 7

Presentación 9

Resumen ejecutivo 11

Introducción 13

CAPÍTULO 1 **LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE AGUA Y SANEAMIENTO EN PEQUEÑAS LOCALIDADES** 15
- 1.1 Aspectos demográficos y coberturas de agua y saneamiento en pequeñas localidades del Perú y América Latina 15
- 1.2 Necesidad de tecnologías alternativas para superar el déficit de cobertura y calidad de servicio 15

CAPÍTULO 2 **TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA** 17
- 2.1 Provisión de servicio de agua con redes condominiales 19
- 2.2 La tecnología del ferrocemento en la construcción de estructuras para agua y saneamiento 21
- 2.3 Tratamiento de agua para consumo humano: la Filtración en Múltiples Etapas (FiME) 22

CAPÍTULO 3 **TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO** 29
- 3.1 Letrina sanitaria de arrastre hidráulico 30
- 3.2 Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico 32
- 3.3 Letrina abonera o ecológica con separación de orina 34
- 3.4 Sistema de alcantarillado sanitario condominial o simplificado 36
- 3.5 Sistema de alcantarillado de flujo decantado o de pequeño diámetro 38

CAPÍTULO 4 **TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES** 41
- 4.1 Lagunas de estabilización 42
- 4.2 Biofiltros 45
- 4.3 Filtros verdes 47
- 4.4 Filtros de turba 49
- 4.5 Contactores biológicos rotativos 50

CONCLUSIONES 53

LECCIONES APRENDIDAS 54

BIBLIOGRAFÍA 55

Lista de tablas y figuras

Lista de tablas

Tabla 1	Servicios de agua y saneamiento en Colombia
Tabla 2	Sistemas convencionales de abastecimiento de agua
Tabla 3	Sistemas no convencionales de abastecimiento de agua
Tabla 4	Cuadro comparativo de costos en Parauapebas, Brasil (reales por conexión)
Tabla 5	Valores de diseño para FGDi
Tabla 6	Valores de diseño para FGAC
Tabla 7	Valores de diseño para FLA
Tabla 8	Opciones tecnológicas en saneamiento
Tabla 9	Costos de construcción de letrinas secas ventiladas y letrinas de arrastre
Tabla 10	Costos de inversión, operación y mantenimiento en plantas de Colombia
Tabla 11	Costos de inversión, operación y mantenimiento en plantas en América Central

Lista de figuras

Figura 1	Red de distribución en un sistema convencional y en un sistema condominial
Figura 2	Detalle de los ramales condominiales
Figura 3	Alternativas tecnológicas para la potabilización del agua para consumo humano
Figura 4	Procesos que integran la FiME
Figura 5	Esquema de un filtro grueso dinámico (FGDi)
Figura 6	Esquema de un filtro grueso ascendente en capas (FGAC)
Figura 7	Esquema de un filtro lento de arena (FLA)
Figura 8	Planta de FiME en Mondomo, Colombia
Figura 9	Costos de inversión por opción tecnológica en saneamiento
Figura 10	Letrina sanitaria de arrastre hidráulico
Figura 11	Nivel de aceptación de las letrinas por los usuarios
Figura 12	Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico
Figura 13	Alternativas para el tratamiento complementario o disposición final del efluente de un tanque séptico
Figura 14	Letrina abonera o ecológica
Figura 15	Esquema comparativo de sistemas de alcantarillado convencional y condominial
Figura 16	Alcantarillado de flujo decantado
Figura 17	Registro de inspección
Figura 18	Esquema de un sistema de tratamiento por lagunas
Figura 19	Lagunas de estabilización en Colombia
Figura 20	Sección de un filtro biológico de flujo horizontal
Figura 21	Planta de biofiltros en Andalucía, España
Figura 22	Esquema de un sistema de tratamiento con filtros verdes
Figura 23	Filtros verdes en Andalucía, España
Figura 24	Sección horizontal de un filtro de turba
Figura 25	Filtros de turba en Andalucía, España
Figura 26	Diagrama de un contactor biológico rotativo
Figura 27	Contactores biológicos rotativos

Abreviaturas y equivalencia de monedas

Abreviaturas

ABNT	Asociación Brasilera de Normas Técnicas
ACDI	Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
COSUDE	Cooperación Suiza para el Desarrollo
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
FiME	Filtración en Múltiples Etapas
FGAC	Filtros Gruesos Ascendentes en Capas
FGDi	Filtros Gruesos Dinámicos
FLA	Filtros Lentos de Arena
FONCODES	Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo
FPS	Fondo Nacional de Inversión Pública y Social
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INE	Instituto Nacional de Estadística
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
KfW	Cooperación Alemana para el Desarrollo
NB	Norma Boliviana
NBR	Norma Brasilera
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PAS	Programa de Agua y Saneamiento
PECC	Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales de Carrión de los Céspedes
PNB	Producto Nacional Bruto
SANBASUR	Proyecto Saneamiento Ambiental Básico en la Sierra Sur
SNIS	Sistema Nacional de Informaciones sobre Saneamiento
WEDC	Water, Engineering and Development Centre

Equivalencia de monedas

1 dólar estadounidense (US$ 1) = 8.04 pesos bolivianos (Bolivia)
= 3.13 reales (Brasil)
= 3.50 soles (Perú)

Presentación

Con la participación de expertos y profesionales de distintos países, se realizó en Lima el Simposio Internacional sobre Tecnologías Alternativas de Agua y Saneamiento en Pequeñas Localidades, del 5 al 7 de abril del 2004. Esta iniciativa fue el resultado del esfuerzo compartido de las instituciones que integran el Comité Sectorial de Concertación de Agua y Saneamiento, el cual es coordinado por el Programa de Agua y Saneamiento (PAS), administrado por el Banco Mundial, y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS).

El simposio fue organizado por el PAS, contando con el apoyo financiero de la Agencia Canadiense para el Desarrollo (ACDI) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). A esta iniciativa se sumaron instituciones y profesionales de otros países, tales como: El CENTA (España) CONDOMINIUM (Brasil), COPASA (Brasil), AQUA VALLE (Colombia), CINARA (Colombia), Aguas del Illimani (Bolivia), el Banco Mundial, y del Perú: La Dirección Nacional de Saneamiento del Vice Ministerio de Construcción y Saneamiento (VMCS), SEDAPAL, SANBASUR y CEPIS. A los que también se sumaron expertos como Ron Sawyer (México) y Vidal Cáceres (Nicaragua).

Al evento asistieron 120 participantes, entre profesionales y técnicos del sector, los once alcaldes y personal de los municipios en los que se viene ejecutando el Proyecto Piloto de Pequeñas Localidades (PPPL), el Vice Ministerio de Construcción y Saneamiento, ACDI y el PAS, así como ONGs que trabajan en el sector, interesadas en compartir sus experiencias en el uso de tecnologías apropiadas para proveer de servicios sostenibles a las pequeñas localidades.

De esa manera, el simposio fue un espacio de intercambio de experiencias, de enlaces entre las instituciones del sector, y difusión de los conocimientos y éxitos logrados en el uso de nuevas tecnologías. Asimismo, fue una oportunidad para iniciar una discusión en el sector acerca del paradigma predominante que sirve de base en el diseño de los proyectos para proveer servicios de agua y saneamiento sostenibles, especialmente a la población de menores recursos, en el contexto de la globalización, la lucha por alcanzar las Metas de Desarrollo del Milenio al 2015, y la necesidad de proteger los recursos hídricos y el medio ambiente. El resultado final del simposio dejó las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones:

1. Para proveer de servicios de agua y saneamiento sostenibles a las pequeñas localidades, no existe una sola tecnología, ni una única solución. Por ello, toda tecnología se debe adaptar al entorno ambiental, social y económico de las pequeñas localidades. Los desafíos en el uso de una determinada tecnología son proveer respuestas sencillas a la reducción de costos en la inversión, el incremento de las coberturas y mejoras en la calidad del servicio, entre otros.

2. Se deben desterrar algunas afirmaciones o “mitos” que de manera tradicional se repiten, tales como que los pobres no están en capacidad de pagar por un nivel de servicio apropiado.

3. Se debe promover un nuevo enfoque en la provisión de servicios sostenibles a la población urbana y rural. Se

necesita un nuevo marco conceptual que incluya las lecciones de las experiencias que han fracasado y las lecciones de los éxitos logrados en:

a) El uso de nuevas tecnologías
b) El uso de nuevos materiales de construcción
c) Menores costos y subsidios en el acceso a los servicios para los más pobres, a partir de un nuevo paradigma que tenga como meta final mejorar la salud y la calidad de vida de los ciudadanos de hoy, sin comprometer el futuro de las nuevas generaciones.

Recomendaciones:

El debate generado en el simposio permite resumir algunos temas para identificar nuevos lineamientos en la provisión de servicios con tecnologías apropiadas y adecuadas no sólo a la capacidad de las personas e instituciones, sino también a la protección del medio ambiente, tales como:

1. **La intervención sectorial, la coordinación y concertación:** La intervención tradicional se caracteriza por una implementación desde los sectores del Estado, que no coordinan entre sí, a pesar de estar interrelacionados, por ejemplo: agua, electricidad, y manejo de residuos sólidos. Frente a ello, se propone buscar una intervención integral, que promueva soluciones integrales en la inversión, en la gestión de los recursos hídricos y el acceso a los servicios de agua y saneamiento, así como identificar nuevas formas de asocio y participación entre el sector público y el privado.

2. **El centralismo y la participación ciudadana:** Los procesos de intervención tradicional son tecnocráticos, en donde la selección de las opciones técnicas y la decisión sobre las inversiones se toma de manera centralista. Frente a ello, se propone promover decisiones descentralizadas y participativas: Los usuarios deben ser considerados en todos los procesos de intervención, desde la toma de decisiones, hasta la evaluación de los resultados de intervención.

3. **Promoción del uso de tecnologías no convencionales en proyectos de gran escala:** Actualmente en todos los países de América del Sur el uso de tecnologías convencionales es predominante, aun cuando en muchos casos los costos de estas tecnologías son muy elevados y social y técnicamente inapropiados, para un entorno urbano que ha crecido sin planificación. Frente a ello, se deben buscar nuevos enfoques mediante el uso de tecnologías alternativas, de menor costo y socialmente sostenibles, aplicando modelos de gestión eficientes que garanticen la calidad del servicio.

La realización del simposio y la difusión de sus conclusiones, a través de esta memoria, son el resultado del esfuerzo que de manera conjunta viene realizando el PAS junto con el Vice Ministerio de Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, y la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional, para apoyar el fortalecimiento sectorial.

Programa de Agua y Saneamiento,
Región América Latina y el Caribe
Lima, diciembre del 2004

Resumen ejecutivo

Con el objetivo de analizar tecnologías no convencionales que permitan brindar un servicio de agua y saneamiento de calidad a menor costo, en abril de 2004 se llevó a cabo en Lima, Perú, el Simposio Internacional de Tecnologías Alternativas de Agua y Saneamiento para Pequeñas Localidades. El evento fue organizado por el Programa de Agua y Saneamiento (PAS), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS) y el Viceministerio de Construcción y Saneamiento del Perú, con el apoyo de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). A este esfuerzo se sumaron profesionales así como instituciones internacionales tales como ACUAVALLE (Colombia), Aguas del Illimani (Bolivia), Banco Mundial, CARE Perú, CENTA (España), CIEMA-UNI (Nicaragua), CINARA (Colombia), Condominium (Brasil), COPASA (Brasil), SANBASUR (Perú), SARAR Transformación SC (México) y SEDAPAL (Perú).

La presente memoria proporciona información técnica, costos y requerimientos de operación y mantenimiento de tecnologías alternativas aplicables a pequeñas localidades, y está dirigida a aquellas personas encargadas de tomar decisiones, a los técnicos de los ámbitos municipal y local, y a los proveedores de servicios. Asimismo, la presente memoria brinda referencias de documentos o sitios disponibles en Internet, que contienen información detallada sobre cada opción tecnológica.

En cuanto al tema de la producción y distribución de agua, el documento presenta la tecnología de redes condominiales de agua potable y la construcción de estructuras de almacenamiento de agua con ferrocemento.

En lo que se refiere a la potabilización del agua, se presenta una serie de procesos que integran la llamada Filtración en Múltiples Etapas (FiME), la cual constituye una alternativa válida ante procesos convencionales de filtración rápida que considera el uso de productos químicos y equipos mecanizados para los procesos de floculación y filtración.

Para la provisión de servicios de saneamiento, el documento presenta las siguientes opciones tecnológicas:

Centralizado o alcantarillado	Descentralizado
• Alcantarillado de diámetro reducido • Alcantarillado condominial	• Letrina abonera o ecológica • Letrina de arrastre hidráulico • Tanque séptico

Para el tratamiento de aguas residuales se presentó una serie de criterios a ser considerados en la selección de tecnologías apropiadas, a saber:

- Tecnologías que requieren un gasto de energía mínimo o nulo.
- Procedimientos simples de operación y mantenimiento.
- Tecnologías que garanticen un funcionamiento estable y eficaz frente a las variaciones de caudal y las cargas orgánicas, situaciones que se presentan con frecuencia en las aguas residuales de pequeñas localidades.
- Tecnologías que simplifiquen el manejo de los lodos generados en el proceso.

Como se sabe, entre las tecnologías que satisfacen estos criterios, se encuentran las lagunas de estabilización, los biofiltros y los Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA). Las tecnologías que fueron presentadas en el simposio y que se incluyen en esta memoria son las lagunas de estabilización, los filtros verdes, los biofiltros, los filtros de turba y los contactores biológicos rotativos.

Conclusiones

Existen actualmente tecnologías alternativas de menor costo y de niveles de servicio equivalentes a los de las tecnologías convencionales, que pueden ser implementadas en pequeñas localidades. La ausencia de mecanismos de intercambio y de diseminación del conocimiento constituyen los factores que limitan su mayor aplicación y perfeccionamiento.

Para proveer a las pequeñas localidades de servicios de agua y saneamiento sostenibles, no existe una única solución o tecnología. Resulta importante elaborar un menú de

alternativas que permita a los encargados de la toma de decisiones a nivel municipal y local, conocer las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Lecciones aprendidas

La tecnología está vinculada con la complejidad operativa y de mantenimiento. No existe operación y mantenimiento apropiado y de bajo costo por si solo.

El empleo de tecnologías de menores costos de inversión y de operación mejora las posibilidades de un uso eficiente de los recursos financieros para incrementar la cobertura de los servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades, así como la perspectiva de efectuar rehabilitaciones y ampliaciones.

No obstante lo manifestado, el aspecto tecnológico constituye sólo una de las variables que deben ser tomadas en cuenta en la provisión de servicios sostenibles de agua y saneamiento. Resulta esencial atender una demanda efectiva de la población, así como desarrollar modelos de gestión descentralizados.

Con frecuencia, los técnicos que trabajan en pequeñas localidades no están familiarizados con las tecnologías alternativas de provisión de agua y saneamiento, o sienten temor o desconfianza de su aprendizaje y uso. En consecuencia, prefieren seguir diseñando y aplicando las tecnologías convencionales que les son familiares y con las que se sienten más seguros.

Por otro lado, en ciertos casos, la existencia de normas técnicas basadas en tecnologías convencionales y desarrolladas para medios urbanos, constituye un factor que limita el desarrollo y la aplicación de tecnologías alternativas en pequeñas localidades.

La provisión de asistencia técnica para el manejo adecuado de los servicios de agua y saneamiento, particularmente cuando existen procesos de potabilización del agua o de depuración de aguas residuales, resulta esencial. La experiencia en América Latina demuestra que, independientemente del grado de complejidad del sistema, es necesario un proceso periódico de seguimiento y asistencia técnica.

La implementación de centros para el desarrollo y promoción de tecnologías y provisión de asistencia técnica produce un impacto positivo en el desarrollo de recursos humanos capacitados, la adecuación de la tecnología al medio local y el uso efectivo de tales tecnologías. El éxito de esta estrategia ha sido ilustrado por el caso de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC) en Andalucía, España, el instituto CINARA en Colombia y el CEPIS en Perú.

Introducción

El sector de agua y saneamiento se ha dividido tradicionalmente en urbano y rural. En los centros urbanos más grandes se sigue el modelo tradicional de provisión de servicios a través de empresas públicas o concesiones, y en las áreas rurales se ha establecido la gestión comunitaria a través de un enfoque de atención a la demanda. Ninguno de estos modelos se adecua plenamente a las pequeñas localidades, las cuales pueden ser o muy grandes para los modelos comunales e informales de provisión de agua y saneamiento rural, o muy pequeñas para captar el interés de las empresas de servicio público que abastecen de agua a las áreas urbanas[1].

Las pequeñas localidades se definen por el número de habitantes, es decir centros poblados con un número de habitantes de 2,001 a 50 mil; y según su adscripción al área urbana. Asimismo, en América Latina la proporción de habitantes que, con respecto a la población total del país, vive en pequeñas localidades, es variable: desde un 10% en Bolivia y Chile, hasta un 32% en Colombia, pasando por un 15% en el Perú. Las coberturas de agua y saneamiento en este segmento son, en general, inferiores a los niveles de cobertura existentes en centros urbanos medianos o grandes.

La tecnología a ser empleada en la provisión de servicios a pequeñas localidades constituye parte de la problemática. Para superar el déficit de cobertura de agua y saneamiento mediante un nivel de servicio equivalente al de los centros urbanos medianos y grandes, se requieren montos elevados de inversión, los que se encuentran fuera del alcance de la mayoría de los países latinoamericanos. A este hecho se suma la necesidad de utilizar tecnologías que puedan ser operadas y mantenidas por los proveedores locales de servicios.

La presente memoria documenta los resultados del Simposio Internacional de Tecnologías Alternativas de Agua y Saneamiento para Pequeñas Localidades. Su objetivo es brindar información relevante dirigida a tomadores de decisiones y técnicos que trabajan en instituciones y proveedores de servicios de los ámbitos municipal y local, los cuales usualmente no son especialistas en la materia.

El documento podrá servir como una guía de las opciones tecnológicas disponibles para pequeñas localidades; para tal efecto contiene:

(i) información técnica,
(ii) costos de inversión, operación y mantenimiento,
(iii) requerimientos de operación y mantenimiento.

Asimismo, la memoria contiene referencias sobre sitios disponibles en la web, que tienen información más detallada sobre cada opción tecnológica.

[1] Pilgrim, N., Roche, R. and Kingdom, B.
Abastecimiento de agua en pequeñas localidades. Introducción de factores de éxito en las reformas básicas. Octubre de 2003.

Localidad de Tabalosos, San Martín, Perú

Capítulo 1: La prestación de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades

1.1 Aspectos demográficos y cobertura de agua y saneamiento en pequeñas localidades del Perú y América Latina

En América Latina, la proporción de habitantes que, con respecto a la población total del país, vive en pequeñas localidades, es variable: desde un 10% en Bolivia y Chile, hasta un 32% en Colombia, pasando por un 15 % en el Perú. La cobertura de agua y saneamiento en este segmento de la población es, en general, inferior a los niveles de cobertura de los centros urbanos medianos o grandes. A continuación se describen, a modo de ejemplo, los casos del Perú, Bolivia y Colombia.

En **Perú**, la estrategia sectorial incluye en la categoría de "pequeñas localidades" a poblaciones urbanas de 2,001 a 30,000 habitantes. Se estima que 4.1 millones de personas –15% de la población total– viven en 655 de estas localidades. Un 71% de estos habitantes cuenta con acceso a servicios de agua, y un 50% a servicios de saneamiento (Programa de Agua y Saneamiento, 2004).

Por otro lado, se calcula que la cobertura nacional de los servicios de agua y saneamiento asciende al 75% y 74%, respectivamente. La cobertura en las áreas urbanas es sustancialmente superior a la de las pequeñas localidades: 83% y 74% (SUNASS, 2002), respectivamente. En el área rural, sin embargo, la cobertura es inferior, con 51% en agua y 40% en saneamiento (OPS, 2000).

En **Bolivia**, las pequeñas localidades –con poblaciones de 2,000 a 10,000 habitantes– son consideradas como parte del área urbana del país y representan un 8% (0.6 millones) de la población total. Pese a su reducida proporción, la mayoría de estas poblaciones constituye capitales de municipio, característica que les otorga importancia política, administrativa y social en el país. Un 83% de los habitantes de localidades pequeñas goza de acceso a servicios de agua, mientras un 74% cuenta con servicios de saneamiento. Sin embargo, la cobertura de alcantarillado alcanza sólo 28% (Plan Nacional Sector Agua y Saneamiento, 2002).

En **Colombia,** existen 834 municipios con una población de 2,000 a 30,000 habitantes. El porcentaje de la población que vive en estos municipios representa el 22%, y asciende al 32% si se consideran aquellos que cuentan con poblaciones que fluctúan entre 2,000 y 50,000 habitantes. La tasa de crecimiento de este segmento es del 1.09% (Moreno, 2004). Las coberturas de abastecimiento de agua y saneamiento se presentan en la tabla 1.

1.2 Necesidad de tecnologías alternativas para superar el déficit de cobertura y calidad de servicio

Para cubrir el déficit de demanda de agua y saneamiento en las pequeñas localidades y alcanzar un nivel de servicio similar al de los centros urbanos medianos y grandes, se requieren montos elevados de inversión que se encuentran

Tabla 1: Servicios de agua y saneamiento en Colombia

Cobertura (% de la población)	Población urbana	Población en pequeñas localidades		Población rural
		Urbana	Rural	
Acceso a servicios de agua	95	91	42	44
Acceso a servicios de saneamiento	84	69	20	37

Fuente: Moreno, 2004

fuera del alcance de la mayoría de los países latinoamericanos. A este hecho se suma la necesidad de utilizar tecnologías que puedan ser operadas y mantenidas por los proveedores locales de servicios.

El empleo de tecnologías convencionales de elevados costos de inversión, operación y mantenimiento, así como la aplicación de normas técnicas concebidas para áreas urbanas en pequeñas localidades, ha tenido como consecuencia la construcción de servicios de agua y saneamiento no sostenibles o con reducidos niveles de cobertura, debido a la limitada capacidad de los usuarios para pagar las tarifas o los costos de conexión. En el diagnóstico sobre los servicios de agua y saneamiento en pequeñas poblaciones del Perú surgieron datos muy ilustrativos, como el hecho de que el 33 % de una muestra de 22 localidades cuenta con servicio de agua por un período menor a seis horas diarias, o que en 1,480 sistemas de alcantarillado construidos en la década pasada en localidades rurales y pequeñas poblaciones, se registra una tasa de conexión que apenas sobrepasa el 10%.

Por todo ello, resulta esencial identificar tecnologías alternativas de bajo costo, cuyo desarrollo y aplicación se encuentre adecuadamente documentado y que permitan niveles de cobertura y calidad equivalentes a los que pueden obtenerse mediante tecnologías convencionales.

El Simposio Internacional de Tecnologías Alternativas de Agua y Saneamiento para Pequeñas Localidades posibilitó un intercambio de experiencias entre las distintas instituciones y países participantes.

En los tres siguientes capítulos se presentan tecnologías alternativas para el abastecimiento de agua y la provisión de servicios de saneamiento. En cada uno de ellos se describe el estado del arte y posteriormente se explican las tecnologías presentadas en el taller. En un siguiente capítulo se hace referencia a las conclusiones, incluyendo una sección acerca de criterios para la selección de tecnologías. Finalmente, se presentan las lecciones aprendidas surgidas en el simposio.

Localidad de Tabalosos, San Martín, Perú

Capítulo 2: Tecnologías alternativas de abastecimiento de agua

Las opciones tecnológicas de abastecimiento de agua pueden agruparse en sistemas convencionales y no convencionales. Los primeros funcionan por gravedad o por bombeo, y se caracterizan por contar con redes de tuberías para la distribución del agua. Los sistemas no convencionales están compuestos por un conjunto de obras que posibilitan la prestación de un servicio de agua básico, e incluso podrían no utilizar redes de distribución.

Algunos ejemplos típicos son las protecciones de vertientes, las bombas manuales y las tecnologías de aprovechamiento del agua de lluvia (ver tablas 2 y 3).

Tabla 2: Sistemas convencionales de abastecimiento de agua

Opción tecnológica	Nivel de servicio	Ventajas	Desventajas
Sistemas convencionales por gravedad. Aprovechan la fuerza gravitacional para conducir el agua hasta los usuarios	Conexiones domiciliarias	• Los grifos se encuentran dentro de las viviendas y no se requiere acarreo • Normalmente se dispone de agua las 24 horas al día • No es necesario el almacenamiento intradomiciliario del agua	• Los costos de inversión, y de operación y mantenimiento pueden ser elevados en poblaciones semidispersas y dispersas • Se producen grandes volúmenes de aguas grises • La fuente debe asegurar un suministro continuo durante el año y en cantidades suficientes
	Conexiones multifamiliares ó pileta pública	• Menores costos de inversión y también de operación y mantenimiento en el caso de poblaciones semidispersas y dispersas • Se genera un menor volumen de aguas residuales • Opción recomendable cuando la fuente de agua es limitada	• Se requiere transportar el agua hasta la vivienda • Es necesario el almacenamiento intradomiciliario del agua • Varios usuarios comparten cada conexión
Sistemas convencionales por bombeo. Se requiere energía mecánica, eléctrica, solar o eólica para impulsar el agua hacia los puntos de distribución	Conexiones domiciliarias	• Los grifos se encuentran dentro de las viviendas y no se requiere acarreo • Normalmente se dispone de agua las 24 horas del día • No es necesario el almacenamiento intradomiciliario del agua	• Los costos de inversión y de operación y mantenimiento son elevados, mayores a los de los sistemas por gravedad • Se producen grandes volúmenes de aguas grises • Se requieren medidores domiciliarios debido a los elevados costos de operación así como para reducir desperdicio
	Conexiones multifamiliares	• Menores costos de inversión, y de operación y mantenimiento • Se genera un menor volumen de aguas residuales	• Se requieren medidores en cada conexión debido a los elevados costos de operación así como para reducir pérdidas • Se requiere acarreo del agua • Esta alternativa tiene dificultades para conciliar el consumo y el pago de tarifas entre los usuarios

Tabla 3: Sistemas no convencionales de abastecimiento de agua para población dispersa

Opción tecnológica	Nivel de servicio	Ventajas	Desventajas
Protecciones de vertiente. Adecuada para poblaciones semidispersas o dispersas	Conexiones domiciliarias	• Bajos costos de inversión y de operación y mantenimiento • Los grifos pueden encontrarse dentro las viviendas, en cuyo caso no se requiere acarreo • Se genera un volumen reducido de aguas grises	• Resulta dificultosa la potabilización del agua • Se requiere una buena organización comunitaria para asegurar que todas las viviendas de la localidad gocen de la misma calidad de servicio
Bombas manuales. Adecuada para población dispersa con potencial de aguas subterráneas	Familiar o multifamiliar	• Costos de inversión y de operación y mantenimiento menores a los de los sistemas convencionales de gravedad y bombeo • Se genera un volumen reducido de aguas grises • Opción particularmente adecuada para poblaciones dispersas	• Resulta dificultosa la potabilización del agua en todos los pozos • Se requiere una buena organización comunitaria para asegurar que todas las viviendas de la localidad gocen de la misma calidad de servicio • Se requiere una fuente local de provisión de repuestos
Captación de agua de lluvia. Adecuada para poblaciones semidispersas o dispersas	Familiar	• Bajos costos de inversión y de operación y mantenimiento • Se genera un volumen reducido de aguas residuales	• Servicio no continuo en temporadas secas, por lo cual se necesitan fuentes alternativas de abastecimiento

Tanque de ferrocemento, Cusco, Perú

La búsqueda de tecnologías de menor costo que permitan la provisión de agua a través de conexiones domiciliarias con sistemas que funcionen por gravedad o bombeo ha llevado al desarrollo de:

- Las redes condominiales de agua potable
- La construcción de estructuras de almacenamiento de agua con ferrocemento

Ambas tecnologías se presentan en los siguientes recuadros. Posteriormente, se pueden apreciar tecnologías para la potabilización del agua.

2.1 Provisión de servicio de agua con redes condominiales

La tecnología de redes condominiales para la provisión de agua potable se aplica con éxito en la ciudad de Parauapebas, Brasil, a partir de 1996; y en la ciudad de La Paz, Bolivia, a partir de 1999.

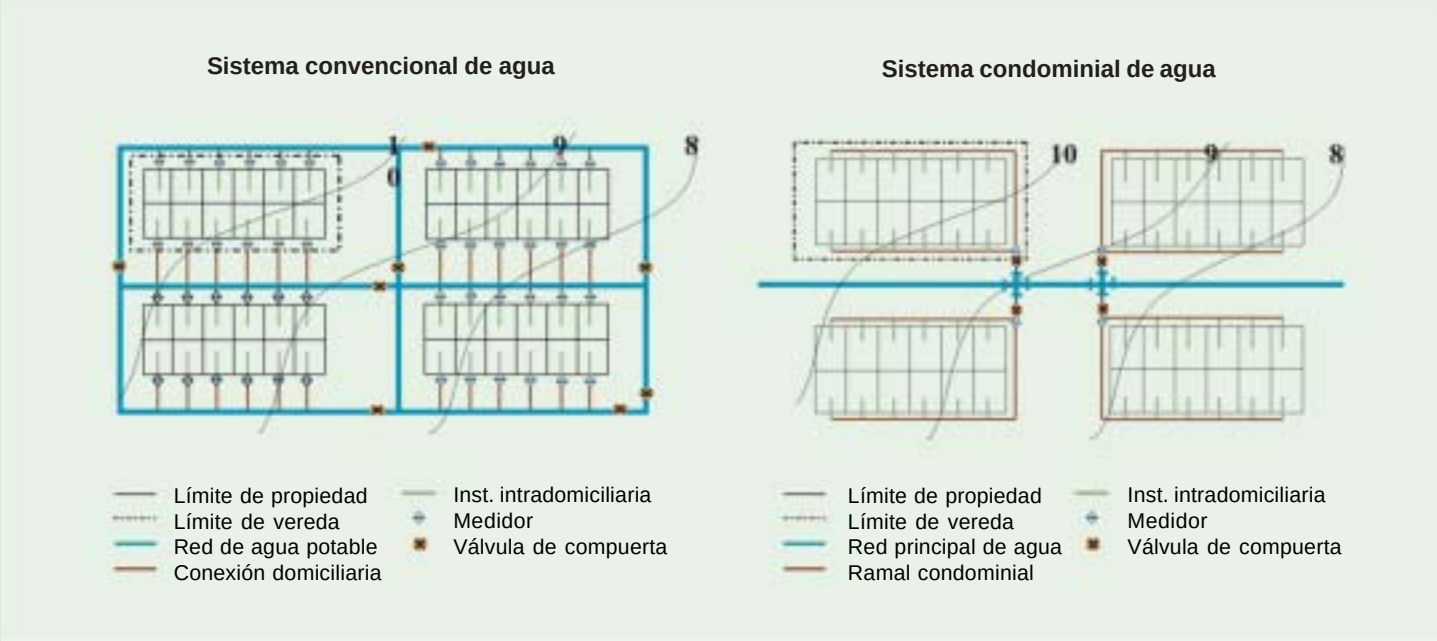
Descripción de la tecnología

El método condominial consta de dos componentes básicos:

- Las redes son tendidas a lo largo de las aceras o el fondo de los lotes y no por el centro de las calles, lo cual genera un ahorro sustancial por las menores longitudes de excavación y de la propia red.
- La comunidad participa en la construcción y mantenimiento de las redes, lo cual permite una reducción de costos aún mayor. Adicionalmente, la interacción con la comunidad facilita las acciones de educación sanitaria.

La unidad vecinal básica es la manzana o cuadra, para lo cual se diseña la red condominial de agua como si se tratara de un edificio de departamentos. Posteriormente se diseña la red de distribución que se construirá en las calles, con una longitud menor a la requerida en el sistema convencional debido a que pasa en forma tangencial a las manzanas. La extensión de la red de distribución en este modelo representa no más del 20% del modelo convencional (ver figura 1).

Figura 1: Red de distribución en un sistema convencional y en un sistema condominial



Asimismo, este diseño de la red de distribución permite subdividir el sistema en sectores que abarquen un determinado número de manzanas. Con la instalación de un registro de cuadra, es posible efectuar el mantenimiento de la red afectando tan sólo a un reducido grupo de usuarios (ver figura 2).

Costos de inversión y de operación

Los costos de construcción de los ramales condominiales son sustancialmente menores a los del sistema convencional. En la tabla 4 se presenta un cuadro comparativo de costos por conexión en un proyecto de Parauapebas, Brasil.

Figura 2: Detalle de los ramales condominiales

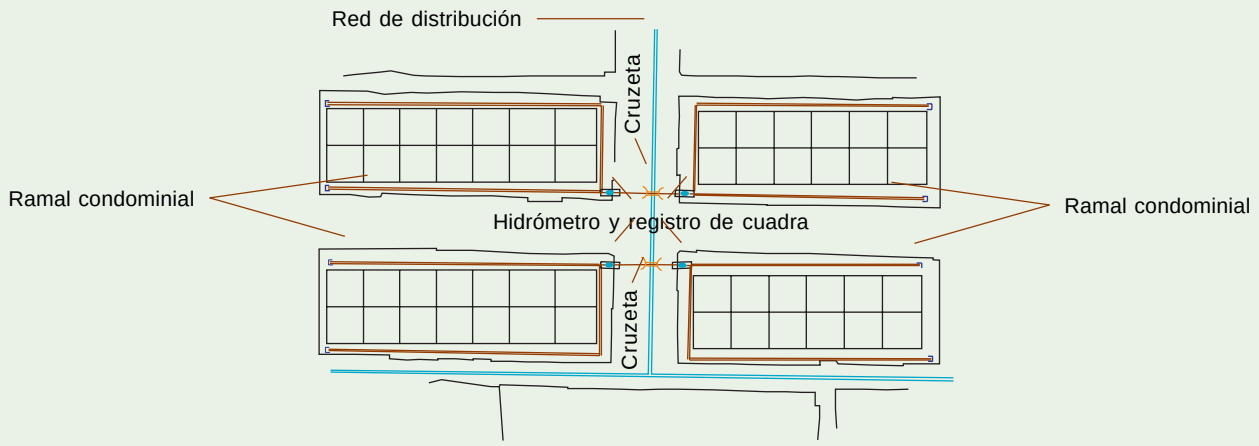


Tabla 4: Cuadro comparativo de costos en Parauapebas, Brasil (Reales por conexión)

Item	Unidad	Costo unitario (R$)	Cantidades		Costo (R$)	
			Convencional	Condominial	Convencional	Condominial
Tubería PVC 20 mm	M	3	5.5	5	8.8	8
Tubería PVC 25 mm	M	1.6	—	5	—	9
Excavación	m3	1.8	2.97	—	17.82	—
Retirada/reposición concreto	m2	18.60	0.36	—	6.70	—
Retirada/reposición asfalto	m2	9.7	0.63	—	6.11	—
Piezas de conexión	Unidad	4	1	—	4	—
COSTO TOTAL					**43.43**	**17.00**

Experiencias de operación y mantenimiento

La simplicidad del concepto condominial favorece notablemente el control del servicio, tanto de las conexiones domiciliarias como del ramal que alimenta a cada manzana, con la instalación de medidores en el punto de alimentación de cada condominio. En forma similar, la operación y mantenimiento del servicio se simplifica gracias a la atención por sectores, que permite suspender el suministro de agua a un número reducido de usuarios

Referencias:

- CONDOMINIUM Emprendimentos Ambientais Ltda. Joao da Costa Miranda Neto: mirandaneto@hotmail.com
- Foster, Vivien, 2001, Sistemas condominiales de agua y alcantarillado. Costos de implementación del modelo, Programa de Agua y Saneamiento (www.wsp.org)

2.2 La tecnología del ferrocemento en la construcción de estructuras para agua y saneamiento

El ferrocemento es un tipo de hormigón reforzado que permite la construcción de paredes con espesor reducido, así como una disminución sustancial de los costos de construcción de estructuras que, de otro modo, tendrían que ser ejecutadas con hormigón armado. Siguiendo un proceso de desarrollo desde 1943 en Italia y 1960 en Brasil, a partir de 1991 la Companhía de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) ha construido con este material depósitos domiciliarios de agua de 250 litros de capacidad hasta tanques de almacenamiento de 500 metros cúbicos, además de plantas potabilizadoras de agua con capacidades de tratamiento que van desde tres hasta 150 litros por segundo. La tecnología es empleada también para el recubrimiento y protección de colectores de alcantarillado.

Descripción de la tecnología

El ferrocemento es construido con un mortero de cemento hidráulico reforzado con mallas de alambre de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser de metal u otro material similar. La finura del mortero deberá ser compatible con la abertura de la malla metálica a ser utilizada. La simplicidad de la construcción permite la participación de la comunidad, lo cual facilita la transferencia de la tecnología a las comunidades beneficiarias.

Las principales ventajas de esta tecnología son:

- Bajo costo en comparación con las estructuras de hormigón armado
- Se construye sin necesidad del encofrado requerido para el hormigón armado
- Se reduce el peso del material por volumen almacenado de agua
- Acepta con facilidad reparaciones en su estructura
- Posee excelente impermeabilidad y alta durabilidad

Costos de inversión y de operación

A continuación, se presenta una relación comparativa de los costos de construcción de tanques de almacenamiento de concreto y de ferrocemento, que ilustra la significativa reducción de costos que se logra con la aplicación de esta tecnología:

Análisis comparativo de costos de estructuras de concreto y de ferrocemento: tanques de almacenamiento

Descripción	Estructura de concreto	Ferrocemento
	jul/00 (US$)	jul/00 (US$)
1. Reservorio, V = 50 m3	9,300.00	4,600.00
2. Reservorio, V = 100 m3	16,800.00	6,800.00
3. Reservorio, V = 150 m3	22,800.00	11,600.00
4. Reservorio, V = 200 m3	34,100.00	13,400.00

Precios con BDI incluído (40%)

Recomendaciones para la construcción y mantenimiento de las estructuras

- Previa capacitación del personal a cargo de la construcción
- Cuidado especial con la arena y su granulometría: debe seleccionarse considerando el espesor de la capa de mortero y su curado
- Estudios específicos de la estructura, en el caso de que vaya a estar expuesta a agentes químicos
- Para el caso de tanques y plantas de tratamiento con caudales y volúmenes grandes, el cálculo del ferrocemento se asemeja a la del hormigón armado

Referencias:

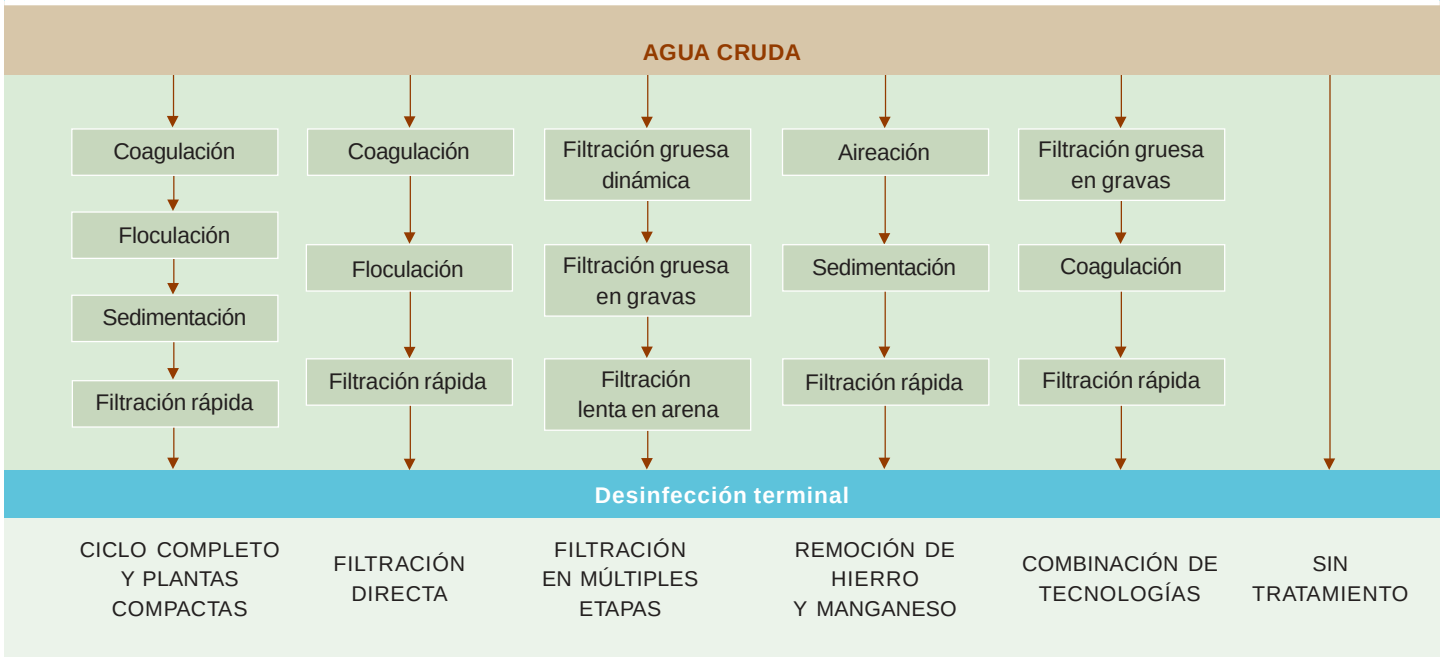
- COPASA Companhía de Saneamiento de Minas Gerais: dvgi@copasa.com.br
- Savio Nunes Bonifacio: savio.nunes@copasa.com.br

2.3 Tratamiento de agua para consumo humano

Para que el consumo de agua sea seguro para los seres humanos, se ha desarrollado una variedad de tecnologías de potabilización que incluye la filtración rápida de agua, a la que se añade previamente una sustancia coagulante, así como los filtros gruesos y filtros lentos de arena. En la figura 3 se presenta un diagrama simplificado de tales alternativas, sintetizado del modelo de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización del Agua, SelTec, elaborado por el instituto CINARA de Colombia.

La adecuada selección de una tecnología resulta fundamental para potabilizar el agua bajo criterios de costo-efectividad y sostenibilidad del servicio, para lo cual se han logrado avances significativos en la simplificación de tecnologías tales como la coagulación, la sedimentación y la filtración rápida en arena, así como el mejor desempeño de los filtros gruesos de grava y filtros lentos de arena.

Figura 3: Alternativas tecnológicas para la potabilización del agua para consumo humano



En el simposio se presentó una serie de procesos que integran la llamada Filtración en Múltiples Etapas (FiME), alternativa válida ante procesos convencionales que consideran el uso de productos químicos y equipos mecanizados como floculadores y filtros rápidos.

Tratamiento del agua sin coagulación química

Filtración en Múltiples Etapas (FiME)

La tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. La tecnología ha presentado muy buenos resultados en Colombia, donde se encuentran en operación alrededor de 50 plantas, diez de ellas desde mediados de la década del 80.

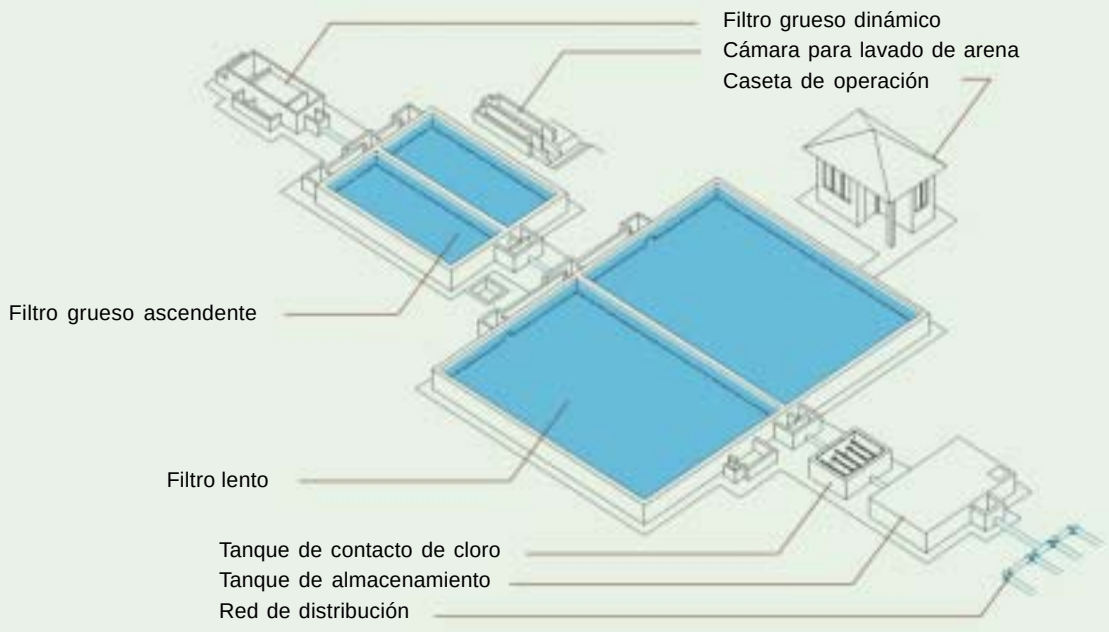
La experiencia ha demostrado, por otra parte, que la decisión de adoptar esta tecnología debe estar precedida de un detallado proceso de análisis técnico, social y de las capacidades locales de construcción y operación de la planta. En particular, constituye un factor crítico la disponibilidad de asistencia técnica a corto y mediano plazo.

Descripción de la tecnología

La FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. En la figura 4 se presenta una opción integrada por tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y Filtros Lentos de Arena (FLA).

Los dos primeros procesos constituyen la etapa de pretratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos. Conforme circula el agua las partículas más pequeñas son eliminadas, hasta llegar al filtro lento de arena, reconocido como una tecnología sencilla, confiable y eficiente, pues puede producir agua de baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas y virtualmente libre de entero-bacterias, entero-virus y quistes de protozoarios.

Figura 4: Procesos que integran la FiME



Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi)

Los FGDi son tanques que contienen una capa delgada de grava fina –de 6 a 13 mm.- en la superficie, sobre un lecho de grava mas grueso –de 13 a 25 mm.- y un sistema de drenaje en el fondo (ver figura 5).

Figura 5: Esquema de un Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

El agua que ingresa en la unidad fluye sobre la capa superficial de grava en sentido horizontal. Parte del agua se infiltra a través del lecho y es conducida a la próxima etapa de tratamiento, mientras que el exceso es devuelto al curso de agua original. Bajo condiciones normales de operación, la capa de grava fina retiene entre el 70 y el 80% del material suspendido, obstruyéndose gradualmente el lecho filtrante superficial. Si se presentaran concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, el lecho filtrante puede llegar a obstruirse más rapidamente, disminuyendo el flujo del agua y protegiendo, consiguientemente, los otros procesos de tratamiento.

La limpieza de estas unidades se debe realizar una a dos veces por semana, para lo cual se raspa la capa superficial de grava desprendiendo el material depositado. Este proceso se combina con un drenaje de fondo.

Tabla 5: Valores de diseño para el FGDi

Criterio	Valor	Criterio	Valor
Período de diseño (años)	8-12	Velocidad superficial de lavado (m/s)	0.15-0.3
Período de operación (h/d)	24	Lecho filtrante	
Velocidad de filtración (m/h)	2-3	Longitud (m)	0.6
Número mínimo de unidades en paralelo	2	Tamaño (mm) (depende del tipo de FG)	Variable
Área máxima de filtración por unidad (m2)	<10	Altura del vertedero de salida (m)	0.03- 0.05

Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

Un filtro grueso ascendente consiste en un compartimento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo, que es ascendente. Un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro (ver figura 6).

Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos entre las partículas de grava se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo que se requieren limpiezas semanales, para lo cual se utilizan válvulas de apertura rápida situadas en la base de la estructura, que se abren y cierran para remover el material depositado en el lecho del filtro.

Figura 6: Esquema de un Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

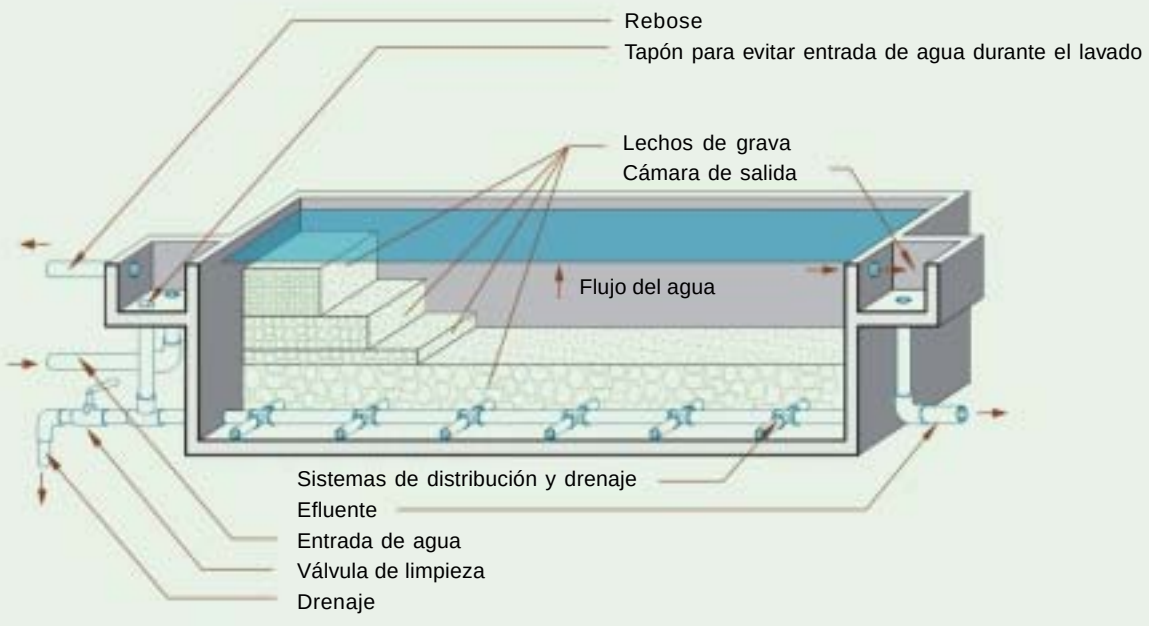


Tabla 6: Valores de diseño para el FGAC

Criterio	Valor	Criterio	Valor
Período de diseño (años)	8-12	Lecho filtrante	Depende del tipo de FG
Período de operación (h/d)	24	Longitud por unidad (m.)	0.30 - 0.50
Velocidad de filtración (m/h)	0.3 - 0.6	Tamaño de la grava (mm.)	Depende del tipo de FG
Número de unidades en serie: FGAC	1	Altura sobrenadante de agua	0.10 - 0.20
Longitud total (m)FGAC	0.60 – 0.90	Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m.)	3
Lecho de soporte	Depende del tipo de FG	Área de filtración por unidad (m2)	< 20

Filtro Lento de Arena (FLA)

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (ver figura 7).

Conforme opera el filtro, se desarrolla en la superficie una capa biológica que resulta de la acumulación de material orgánico e inorgánico. En esta capa se genera la mayor pérdida de carga durante el funcionamiento del filtro, por lo cual el trabajo de limpieza consiste en el retiro o raspado de uno a dos cm. de la parte superior del medio filtrante al cabo de varias semanas o meses, dependiendo de factores tales como la turbiedad del agua y la velocidad de filtración. Después de varios raspados, se requiere el rearenamiento del filtro, actividad que consiste en la reposición de la arena retirada anteriormente del filtro una vez lavada. Esta actividad se realiza cada tres o más años.

Figura 7: Esquema de un Filtro Lento de Arena (FLA)

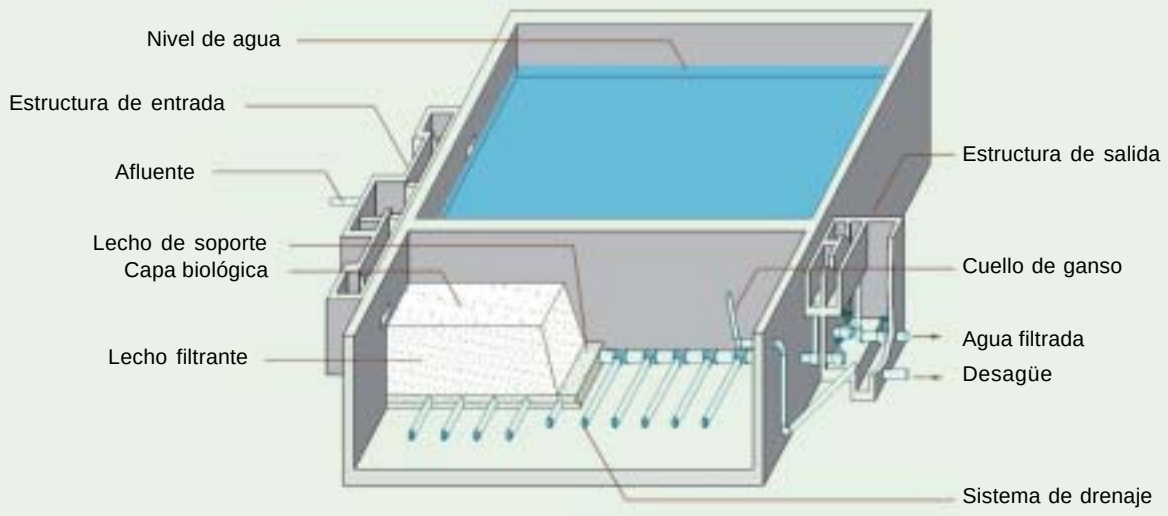


Tabla 7: Valores de diseño para el FLA

Criterio	Valor	Criterio	Valor
Velocidad de filtración (m/h)	0.1 - 0.3	Coeficiente de uniformidad Aceptable Deseable	 < 4 < 2
Período de diseño (años)	8-12	Diámetro efectivo (mm.)	0.15 - 0.30
Período de operación (h/d)	24	Altura del lecho de soporte,incluyendo el drenaje (m.)	0.25
Altura de arena (m.): Inicial Mínima	0.8 0.5	Altura agua sobrenadante (m)	0.75
Borde libre (m.)	0.1	Área superficial por módulo (m2)	<100

Costos de inversión y de operación

La FiME es favorable en cuanto a costos de inversión inicial, especialmente en sistemas pequeños donde el costo del terreno es bajo y existe disponibilidad de mano de obra y materiales a nivel local. Sin embargo, su mayor ventaja se encuentra en los costos de administración, operación y mantenimiento, los cuales son sustancialmente inferiores en comparación con los costos emergentes del uso y manejo de productos químicos –tales como coagulantes– necesarios en otras tecnologías.

El instituto CINARA ha desarrollado una serie de ecuaciones y modelos que permiten determinar el costo de inversión de estas unidades.

Experiencias de operación y mantenimiento

Los trabajos que deben realizar los operadores de una planta de FiME pueden resumirse en:

- Limpieza de la bocatoma (puede llegar a ser diaria, dependiendo de la época del año)
- Limpieza de los desarenadores (cada semana)
- Limpieza y raspado de los filtros dinámicos (diaria o cada dos días)
- Limpieza y raspado de los filtros gruesos (cada semana)
- Lavado y raspado de arena de los filtros lentos (cada dos meses)
- Preparación y dosificación de la solución de cloro
- Medición y registro de caudal a la entrada y salida de la planta (diario)

La experiencia en la implementación de la tecnología sugiere la necesidad de un óptimo conocimiento de las características del agua a ser tratada, incluyendo sus variaciones estacionales; además de efectuar, en lo posible, estudios piloto en forma previa a su adopción. Resulta igualmente esencial contar con asistencia técnica durante el diseño, construcción y operación de la planta, a corto y mediano plazo.

Figura 8: Planta de FiME en Mondomo, Colombia

Referencias:

- Instituto CINARA (www.cinara.org.co). Alberto Galvis, algalvis@univalle.edu.co
- International Water and Sanitation Center (www.irc.nl)

Trabajando Para
sedapal

Capítulo 3: Tecnologías alternativas de saneamiento

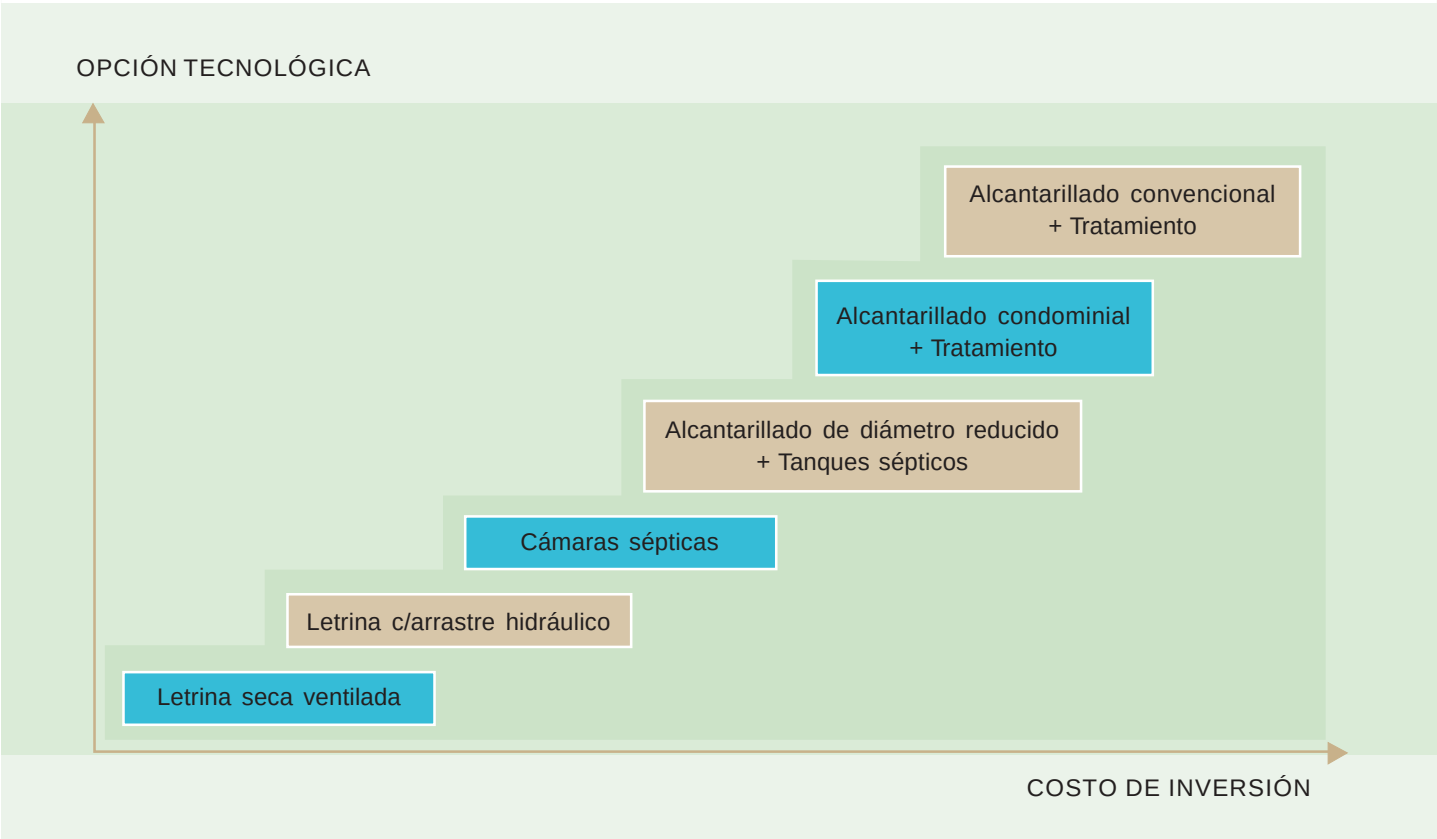
Existe una diversidad de opciones tecnológicas disponibles para la provisión de servicios de saneamiento que pueden clasificarse en sistemas centralizados o descentralizados, como se presenta en la tabla 8. Cada opción tecnológica es descrita en detalle en los recuadros siguientes.

La figura 9 presenta una categorización de estas opciones tecnológicas en función de sus costos de inversión. Se puede comprobar que las opciones centralizadas exhiben los mayores costos de inversión y, en forma equivalente, los mayores costos de operación y mantenimiento.

Tabla 8: Opciones tecnológicas de saneamiento

Centralizado o alcantarillado	Descentralizado
• Convencional	• Letrina de hoyo seco ventilado
• Diámetro reducido	• Letrina abonera o ecológica
• Condominial	• Letrina con arrastre hidráulico
	• Tanque séptico

Figura 9: Costos de inversión por opción tecnológica en saneamiento



Fuente: CEPIS, 2004

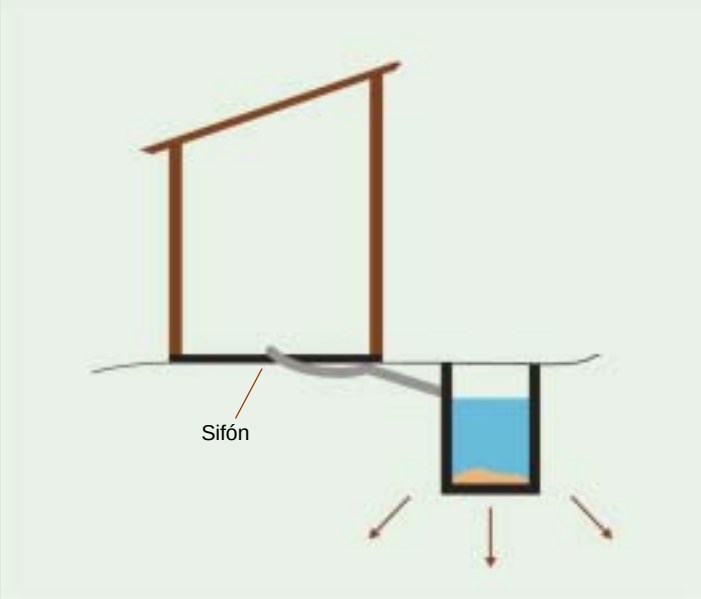
3.1 Letrina sanitaria de arrastre hidráulico

La letrina sanitaria de arrastre hidráulico es ampliamente utilizada en América Latina, tanto en las áreas periurbanas de grandes ciudades como en las pequeñas localidades. Esta letrina puede ser construida en el interior de las viviendas o en los patios. Una gran desventaja de esta opción tecnológica es el riesgo que representa para la contaminación de acuíferos subterráneos.

Descripción de la tecnología

Una letrina de arrastre hidráulico es aquella que requiere una cantidad de agua –usualmente entre dos y cuatro litros– para el arrastre de las heces fecales a un pozo de absorción, el cual se encuentra desplazado con respecto a la caseta de la letrina. El inodoro o "losa turca" de la letrina cuenta con un sifón que actúa como un cierre hidráulico, el cual impide el paso de insectos y malos olores del pozo de absorción a la caseta (figura 10).

Figura 10: Letrina sanitaria de arrastre hidráulico



Ventajas	Desventajas
• Minimiza la presencia de moscas y olores • Se puede ubicar dentro de la vivienda, hecho que favorece un mayor y mejor uso • Se puede conectar a una red de alcantarillado	• Requiere agua, preferiblemente a nivel domiciliario • Es necesario el retiro periódico de lodo • Se requieren suelos permeables y áreas libres para la construcción de los pozos • Riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas

A continuación se presentan algunos criterios que deben ser tomados en cuenta al implementar proyectos con letrinas de arrastre hidráulico:

Criterios socio-culturales. Las prácticas de las familias en cuanto al manejo del agua y la disposición de excretas, incluyendo la limpieza anal, tienen una importancia fundamental.

Criterios técnicos. Con respecto al emplazamiento de la letrina, la cercanía a la vivienda y al punto de suministro de agua favorece su uso, mantenimiento y desarrollo de prácticas como el lavado de manos. El aparato sanitario de la letrina puede ser del tipo "losa turca", que corresponde a la costumbre natural de defecar al aire libre, o puede ser el inodoro de asiento, que algunos usuarios prefieren por su mayor comodidad o por estatus social. El pozo de absorción debe reunir tres condiciones:

- Tener capacidad suficiente para almacenar los fangos durante su vida útil
- Al concluir la vida útil del pozo, debe quedar espacio para un recubrimiento de tierra suficiente como para evitar la contaminación de la superficie con organismos patógenos
- El pozo debe contar con una superficie de pared suficiente para la infiltración del líquido

La caseta de la letrina también debe reunir requisitos mínimos en términos de tamaño, ventilación, iluminación y facilidad de limpieza.

Criterios financieros. El aporte de la familia, con recursos en efectivo, resulta determinante para asegurar un uso efectivo y sostenido del servicio.

Educación sanitaria. La provisión de letrinas debe ser el resultado de un proceso de educación sanitaria que comience antes de la ejecución del proyecto y continúe una vez concluido éste.

Costos de inversión y de operación

A manera de ilustración, en la tabla 9 se presenta una relación comparativa de los costos de letrinas secas con ventilación con respecto a las letrinas de arrastre hidráulico, de acuerdo a la experiencia del proyecto Saneamiento Ambiental Básico en la Sierra Sur (SANBASUR), ejecutado en la región del Cusco, Perú. El aporte de los usuarios en mano de obra y provisión de materiales locales resulta significativo en este tipo de proyectos. La operación y mantenimiento de esta opción tecnológica es efectuada íntegramente por los usuarios.

Experiencias de operación y mantenimiento

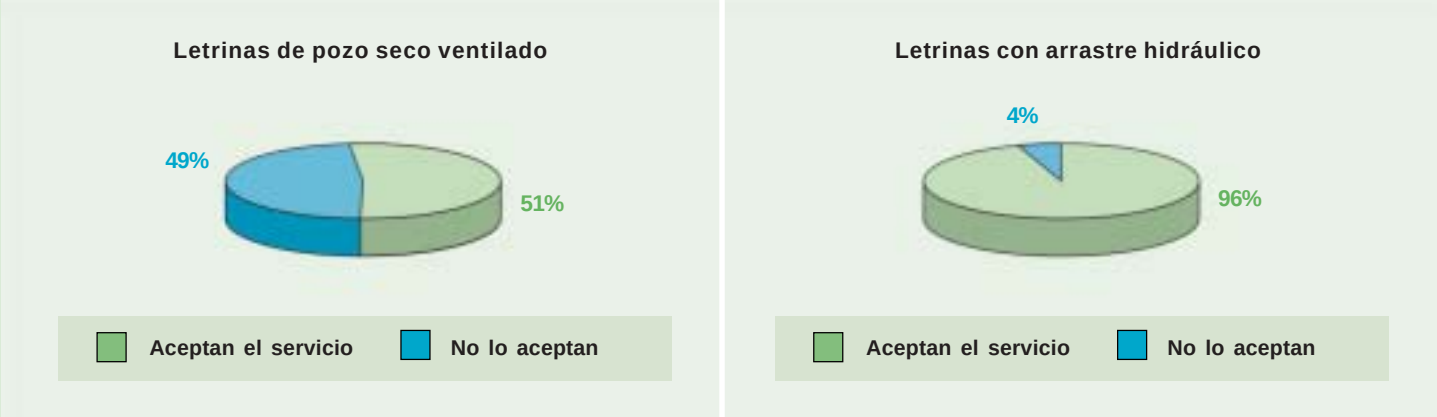
Las experiencias del proyecto SANBASUR con letrinas secas ventiladas y letrinas de arrastre hidráulico, muestran la preferencia de los usuarios por esta última (ver figura 11).

Sin embargo, los resultados pueden variar dependiendo del contexto, social, cultural, económico y ambiental donde se encuentren las comunidades y familias usuarias.

Tabla 9: Costos de construcción de letrinas secas ventiladas y letrinas de arrastre

Aportes	Letrina Seca		Letrina Arrastre	
	US ($)	%	US ($)	%
USUARIO	31.40	63	44.20	67
MUNICIPIO Y SANBASUR	18.60	37	21.80	33
TOTAL	50.00	100	66.00	100

Figura 11: Nivel de aceptación de las letrinas por los usuarios



Referencias:

- CEPIS (www.cepis.ops-oms.org)
- Sanitation Connection (www.sanicon.net)
- SANBASUR. Herberth Pacheco de la Jara: herberth@sanbasur.org.pe

3.2 Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico

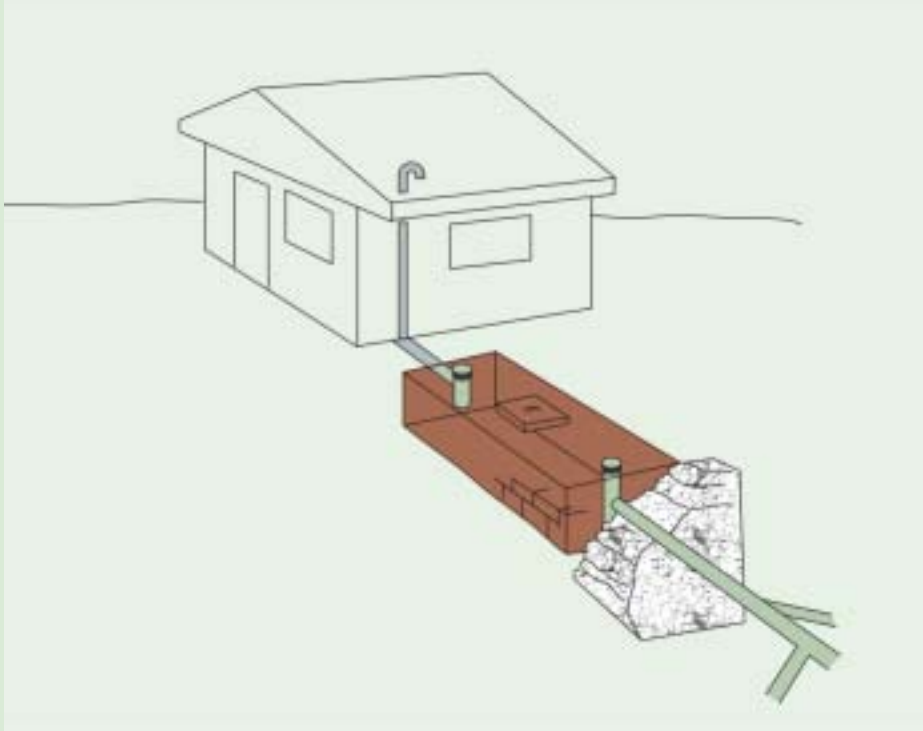
Una variante utilizada en América Latina es la letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico. Esta alternativa tecnológica requiere una cantidad de agua similar –entre dos y cuatro litros– para el arrastre de las heces fecales, y puede ser construida también en el interior de las viviendas. La cámara séptica presenta menores riesgos de contaminación de agua subterránea que las letrinas equipadas con pozos de absorción (figura 12).

Descripción de la tecnología

Las cámaras sépticas son tanques de área rectangular, en los cuales se producen los siguientes procesos:

- Retención de espumas y objetos flotantes
- Sedimentación de sólidos y digestión de la materia orgánica sedimentada
- Descarga del agua residual clarificada

Figura 12: Letrina de arrastre hidráulico con tanque séptico



Ventajas	Desventajas:
• Es un sistema adecuado para viviendas que cuentan con conexiones domiciliarias de agua • Es apropiado cuando el suelo es permeable y no se encuentra en una zona sujeta a inundaciones • Se puede conectar a una red de alcantarillado	• Cuando se considera un sistema para cada vivienda en áreas urbanas, puede resultar más costoso que construir una red de alcantarillado • Es necesario prever un sistema de retiro de lodos que se lleve a cabo en forma periódica y sostenible • Requiere de campo de infiltración a otro medio de disposición final de líquido y lodos

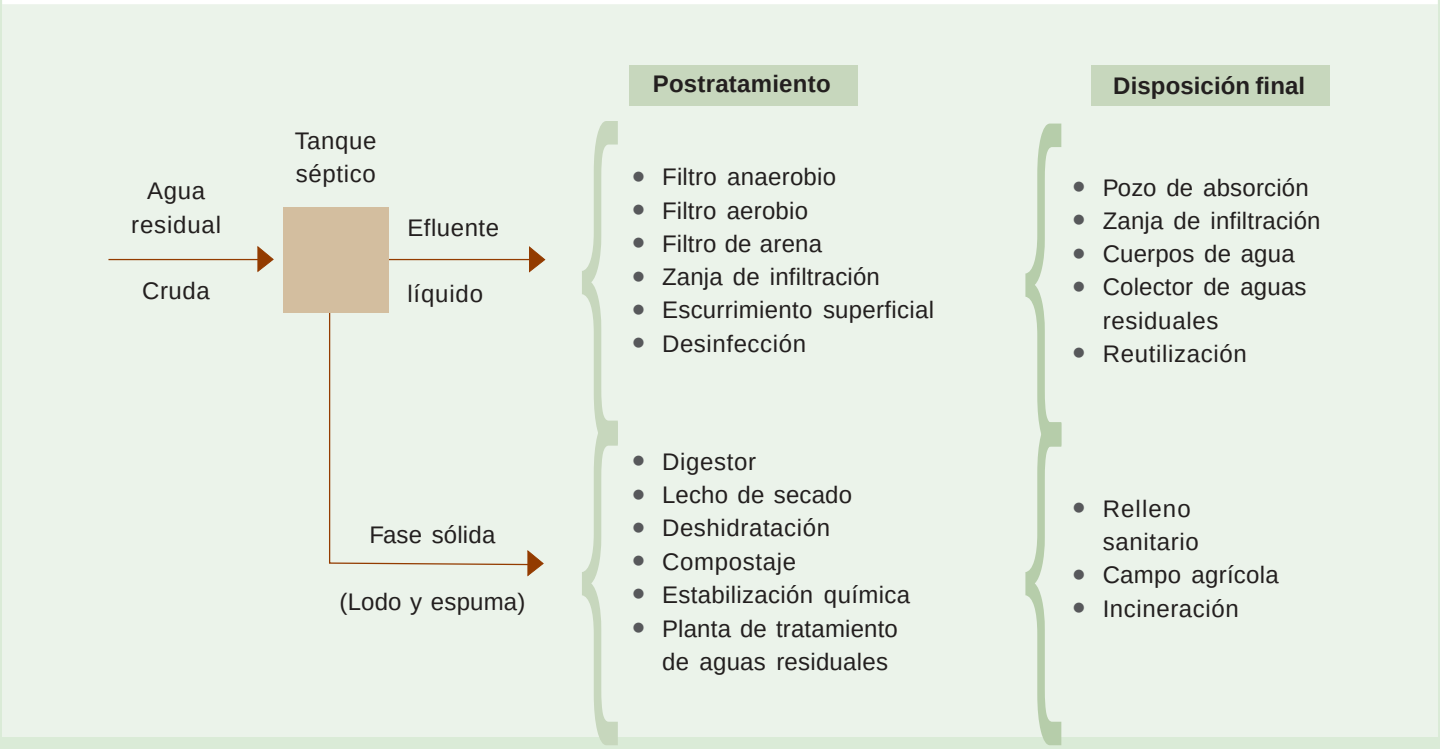
Los criterios citados para el caso de letrinas de arrastre hidráulico y pozo de absorción son aplicables a las letrinas con cámara séptica. En áreas con alta densidad poblacional, es posible la conexión de varias viviendas a una sola cámara séptica.

Las cámaras sépticas constituyen un proceso de tratamiento primario, en tanto en ellas la materia orgánica no es completamente descompuesta y no ocurren procesos de desinfección. Por esta razón, es necesario que se realice un tratamiento adicional en forma previa a su disposición final, como se ilustra en la figura 13.

Costos de inversión y operación

Las letrinas de arrastre hidráulico con cámara séptica tienen un mayor costo de inversión que sus similares equipadas únicamente con pozos de absorción. El aporte de los usuarios en mano de obra y provisión de materiales locales cobra gran importancia en esta tecnología. Para la fase de operación, es esencial prever un sistema periódico de limpieza de los lodos depositados en las cámaras sépticas, sea mediante limpieza manual o a través de equipos mecánicos de succión.

Figura 13: Alternativas para el tratamiento complementario o disposición final del efluente de un tanque séptico



Referencias:
- CEPIS (www.cepis.ops-oms.org)
- Sanitation Connection (www.sanicon.net)

3.3 Letrina abonera o ecológica con separación de orina

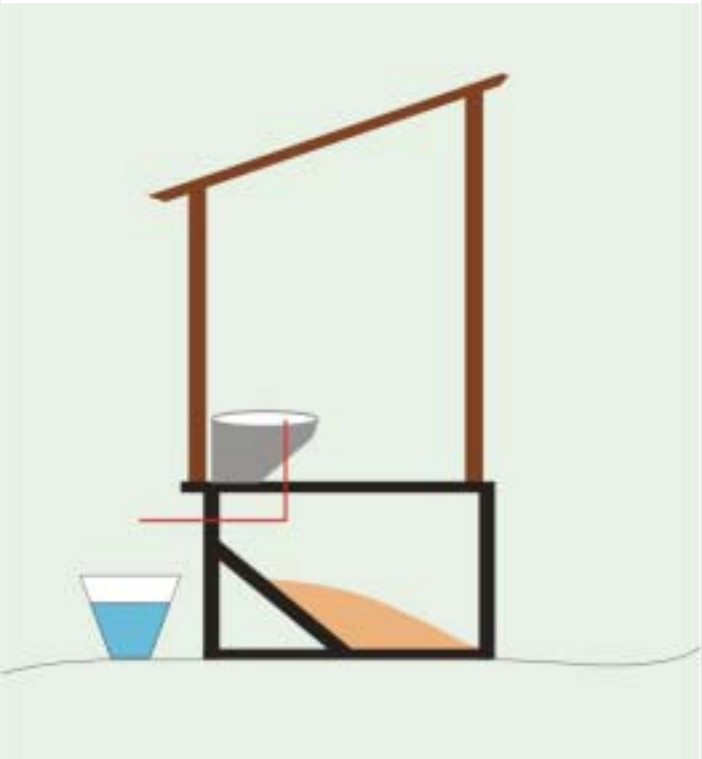
El saneamiento ecológico constituye un enfoque innovador en la provisión de servicios de saneamiento. Se basa en cuatro conceptos: sanear las excretas humanas, prevenir la contaminación en lugar de intentar controlarla después de haber contaminado el agua y el suelo, conservar los recursos hídricos y cerrar el ciclo de nutrientes al utilizar la excreciones humanas una vez saneadas para propósitos agrícolas. La aplicación de este tipo de letrinas, tanto en áreas periurbanas de ciudades como México D.F. como en pequeñas localidades, se encuentra actualmente a nivel de proyectos piloto.

Descripción de la tecnología

La letrina abonera o ecológica separa las excretas de los orines. Las excretas deshidratadas pueden ser empleadas, posteriormente, como abono. La letrina comprende un inodoro o “losa turca” equipado con un separador de orina en su parte frontal, el cual está conectado a través de una manguera con un recipiente, a fin de utilizarla como fertilizante –por su elevado contenido de nitrógeno y prácticamente nula presencia de gérmenes debido a su alta acidez–, o bien para vertirla en un pozo de absorción. La caseta e inodoro o “losa turca” de la letrina están construidos sobre dos cámaras que son empleadas en forma alternada para posibilitar la degradación de la materia orgánica (figura 14).

La letrina ecológica puede ser construida en el interior de las viviendas o en los patios.

Figura 14: Letrina abonera o ecológica



Ventajas	Desventajas
• No utiliza ni contamina el agua • Se produce un mejoramiento de suelos • La orina puede ser utilizada como fertilizante • Es apropiada en áreas donde existe riesgo de contaminar cuerpos de agua subterráneos • Es adecuada en suelos que presentan dificultades de excavación (rocosos o arenosos)	• Tiene un mayor costo que una letrina ventilada de hoyo seco o un letrina de arrastre hidráulico por la construcción de dos cámaras alternantes • La orina debe ser separada y tratada para su disposición final • Después de cada uso, se requiere agregar cenizas, tierra seca o material vegetal

Algunos criterios que deben ser considerados al implementar proyectos de letrinas ecológicas son:

Criterios socio-culturales. Deben tomarse en consideración las prácticas de las familias en cuanto al manejo del agua y la disposición de excretas, incluyendo prácticas de limpieza anal.

Criterios técnicos. Para lograr su correcto funcionamiento, deben ser considerados los siguientes aspectos:

- El excremento se deposita en una de las dos cámaras y, después de cada uso, es necesario agregar aproximadamente media taza de tierra –tres partes de tierra y dos de ceniza o cal– a fin de que el interior de la cámara permanezca seco y con un nivel de acidez (pH) mayor a nueve.
- Cuando la cámara en uso esté por llenarse, se debe quitar el inodoro a fin de cubrir el depósito con una capa de tierra seca, y se debe colocar el inodoro en la cámara vacía. La cámara llena se cubre totalmente con tierra para que prosiga el proceso de transformación de la materia orgánica en una materia inocua. Una vez que las dos cámaras se llenen, se debe proceder a vaciar la que se encontraba en reposo.
- Es recomendable contar en la letrina con un urinario para varones y para mujeres, de manera tal que no humedezcan el interior de las cámaras.
- Para reutilizar la orina como fertilizante, se recomienda diluirla en agua en una proporción de uno a diez.

La caseta de la letrina también debe reunir requisitos mínimos en términos de tamaño, ventilación, iluminación y facilidad de limpieza.

Criterios financieros. El aporte de las familias con recursos en efectivo, resulta determinante para asegurar un uso real y sostenido del servicio.

Educación sanitaria. La provisión de las letrinas debe ser el resultado de un proceso de educación sanitaria, que debe iniciarse antes de la ejecución del proyecto y continuar una vez concluido éste.

Costos de inversión y de operación

El costo de inversión de las letrinas ecológicas es superior al de las letrinas secas y las letrinas de arrastre de agua. Su operación y mantenimiento son de entera responsabilidad de los usuarios.

Referencias:

- Sanitation Connection (www.sanicon.net)
- Sarar Transformación SC. Ron Sawyer: rsawyer@laneta.apc.org
- CENCA. Juan Carlos Calizaya: jcarloscenca@terra.com.pe

3.4 Sistemas de alcantarillado sanitario condominial o simplificado

Los sistemas condominiales fueron usados por primera vez en Brasil durante la década del 80, con la finalidad de que los servicios de saneamiento a través de redes de alcantarillado estuvieran al alcance de las familias de menores recursos (Watson, 1995). En este país la tecnología se aplicó principalmente en barrios pobres de grandes ciudades como Fortaleza, Belém, Brasilia y Río de Janeiro. En 1986, se incorporaron los criterios de diseño del alcantarillado condominial en las normas brasileras de diseño. En el año 2001, en base a la aplicación de esta tecnología en la ciudad de El Alto, Bolivia hizo lo propio, incluyendo en sus normas criterios de diseño específicos para pequeñas localidades (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, 2001, Programa de Agua y Saneamiento, 2001). En ambos países, la aplicación de esta tecnología en ciudades grandes se encuentra bien documentada, mas no así la aplicación en las ciudades pequeñas.

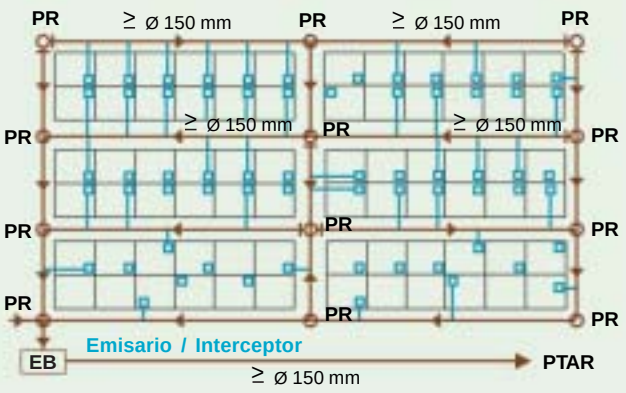
Descripción de la tecnología

La tecnología condominial consta de dos componentes básicos, que pueden ser ejecutados en forma integral o independiente:

- El empleo de técnicas innovadoras de ingeniería. Las redes de alcantarillado son tendidas a lo largo de las aceras o el fondo de los lotes y no por el centro de las calles (figura 15). Como resultado, se logran ahorros sustanciales por el empleo de menores diámetros de tubería en la red (el diámetro mínimo es de 100 mm en lugar de los 150 mm requeridos en el sistema convencional), menores longitudes de la red, menores volúmenes de excavación y menor número de cámaras.
- La participación de la comunidad en la construcción y mantenimiento de las redes condominiales. Esta característica permite una reducción de costos aún mayor. Adicionalmente, la interacción con la comunidad facilita la educación sanitaria.

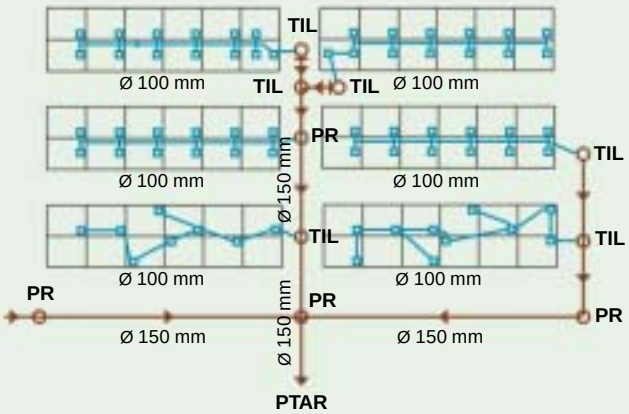
Figura 15: Esquema comparativo de sistemas de alcantarillado convencional y condominial

Sistema de alcantarillado convencional



PR	Pozo de registro
CP	Caja de paso
—	Conexión domiciliaria (ø 100 m)
—	Red colectora (≥ 150 mm)
EB	Estación de bombeo
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales

Sistema de alcantarillado condominial



PR	Pozo de registro
PR	Tubo de inspección y limpieza
CP	Caja de paso
—	Alcantarillado condominial (ø 100 m)
—	Red colectora (≥ 150 mm)
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales

Costos de inversión y de operación

El análisis de la implementación de la tecnología en las ciudades de El Alto y Brasilia en Bolivia y Brasil, respectivamente, sugiere que el ahorro en la inversión cuando el proyecto es ejecutado por empresas constructoras sin la participación de la comunidad, varía entre el 20% y el 24% (Foster, 2001). La participación de la comunidad ofrece la posibilidad de reducir aún más los costos: en El Alto, considerando la participación comunitaria y descontando los costos de capacitación y el tiempo invertido por las familias en la construcción del sistema, el ahorro total en la inversión ascendió al 40%.

Con respecto a los costos de operación y mantenimiento, la empresa operadora privada del servicio de agua y alcantarillado de El Alto reportó las siguientes ventajas en la operación del sistema condominial:

- Las tuberías son más accesibles para el mantenimiento y se requieren herramientas más simples.
- Existe autonomía hidráulica de los ramales. Así, un problema en las tuberías de los ramales no afecta a la red principal.
- Existen menores roturas por cambios de rasante.
- Las reparaciones de las conexiones domiciliarias y de la red tienen un costo menor en un 30% y un 55%, respectivamente, con respecto a las del sistema convencional por el menor diámetro y la menor profundidad de ubicación.

Experiencias de operación y mantenimiento

Una buena operación y mantenimiento es esencial para la sostenibilidad a largo plazo del sistema condominial. En este sentido, la tendencia actual es efectuar el tendido de ramales por las aceras en lugar de hacerlo por el fondo de los lotes, por la presión de los usuarios para ampliar sus viviendas y ocupar el espacio destinado a dichos ramales. Tal presión ha sido más intensa en las áreas urbanas, por el mayor costo del terreno y el menor espacio disponible para las construcciones.

Asimismo, el tendido de los colectores en el fondo de los lotes pretendía reducir los costos de inversión así como de operación y mantenimiento, dado que estos ramales serían mantenidos por los propietarios de los lotes. Siguiendo esta premisa, en Brasil se estableció una tarifa menor a la cobrada en los sistemas convencionales. Esta estrategia no llegó a ser implementada y el mantenimiento de los ramales fue delegado a los operadores de los servicios y no a los usuarios.

Referencias:

- La experiencia piloto de alcantarillado condominial en la ciudad de El Alto, Bolivia. Programa de Agua y Saneamiento (www.wsp.org)
- Foster, Vivien, 2001, Sistemas condominiales de agua y alcantarillado. Costos de implementación del modelo, Programa de Agua y Saneamiento (www.wsp.org)
- CEPIS. Sergio Rolim: srolimme@cepis.ops-oms.org
- Aguas del Illimani: info@aguasdelillimani.com
  Alberto Chávez: chaveza@aguasdelillimani.com

3.5 Sistemas de alcantarillado de flujo decantado o de pequeño diámetro

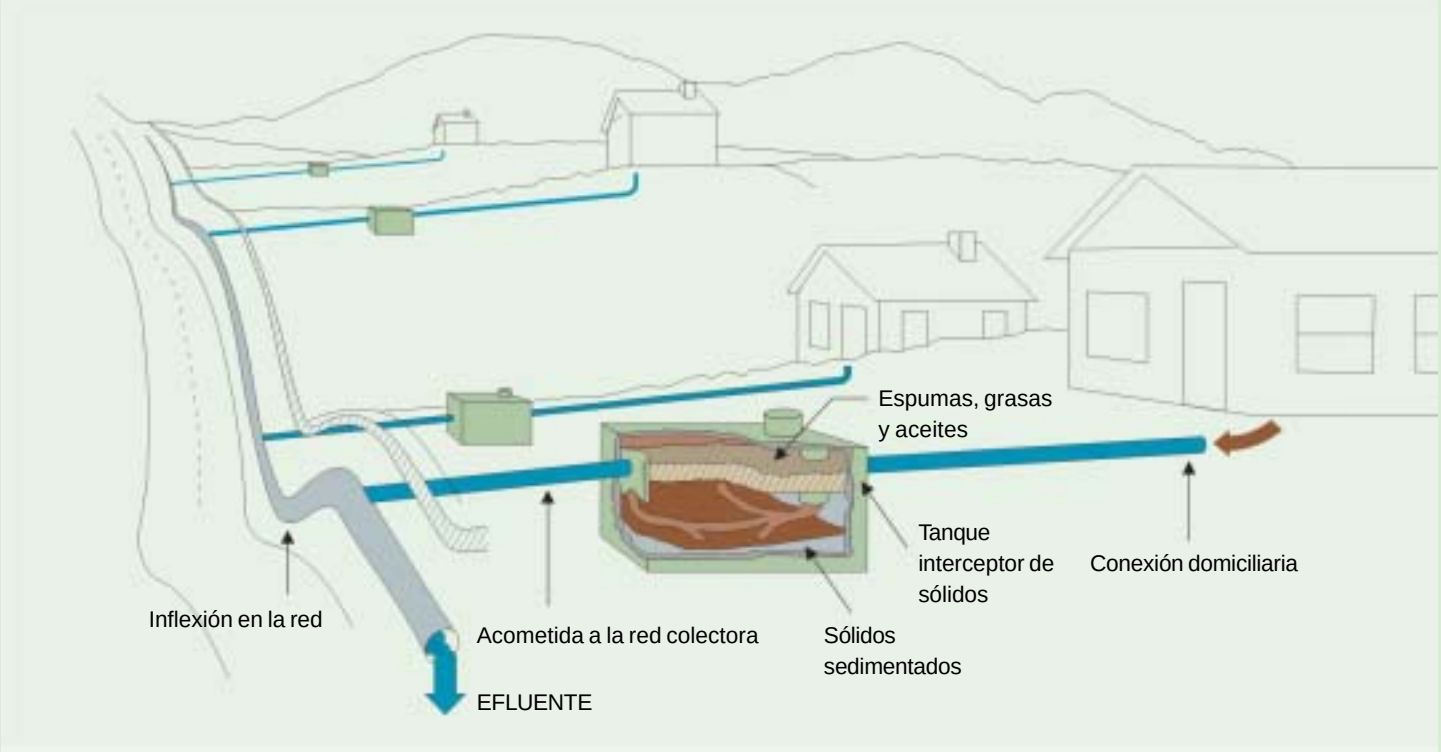
Esta tecnología se desarrolló en el año 1960 en la actual República de Zambia. Posteriormente, los sistemas fueron instalados en Australia (1962), Estados Unidos (1975), Colombia (1982), Brasil (1987) y Sudáfrica (1989). La tecnología es muy común en Australia y los Estados Unidos, con más de 300 sistemas instalados (www.sanicom.net).

Entre los años 1981 y 1982, se desarrolló en Colombia una derivación de la tecnología. A partir de esta experiencia, el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia editó las "Guías Técnicas de Alcantarillados Decantados". Los resultados son prometedores: se han construido proyectos en Granada (370 viviendas), San Zenón (255 viviendas), Tiquisio (213 viviendas) y Puerto Rico (326 viviendas).

Descripción de la tecnología

El alcantarillado de flujo decantado es una tecnología que permite trasladar aguas residuales domésticas que han sido sedimentadas o decantadas previamente en un tanque séptico, también denominado "tanque interceptor de sólidos" (figura 16).

Figura 16: Alcantarillado de flujo decantado



Los sistemas iniciales de alcantarillado de flujo decantado fueron diseñados empleando tuberías de 100 mm. de diámetro con una pendiente mínima de uno en 200 a fin de lograr una velocidad -bajo caudales máximos- de 0.3 m/s.

A finales de los años 70 se desarrolló en los Estados Unidos el criterio del "gradiente de inflexión", por el cual el colector de alcantarillado sigue aproximadamente el contorno superficial del terreno y se permite que las condiciones de flujo en el colector varíen entre un régimen a canal abierto y un régimen a presión (a tubo lleno). En tales casos, deben tomarse precauciones a fin de que se asegure que en las secciones que trabajan a presión no exista reflujo del colector al tanque interceptor. Asimismo, entre el punto inicial y el final del colector debe existir una diferencia positiva de altura.

Este criterio de diseño resulta más económico que el diseño inicial, el cual requería la obtención de una velocidad determinada bajo la situación de caudales máximos. Adicionalmente, con el sistema de alcantarillado de flujo decantado resulta innecesario el requerimiento de velocidades de autolimpieza, dado que los sólidos son retenidos en los tanques interceptores.

Cuando los tanques sépticos se colocan en la parte trasera de las propiedades, los colectores pueden ser tendidos allí y no en las vías públicas, con lo cual se obtiene un considerable ahorro de costos, como es el caso de la variante del sistema condominial que es tendido en los patios traseros de las viviendas. No se requieren cámaras de inspección en cada cambio de dirección, siendo suficiente contar con registros de inspección (figura 17). Las estaciones elevadoras son necesarias sólo en aquellas áreas con muy poca pendiente y que requieren estructuras simples, con una bomba de agua en lugar de una de lodos (más cara), por cuanto no existen sólidos que deban ser bombeados.

Asimismo, al remover un 40% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en los tanques sépticos, la exigencia sobre los procesos de tratamiento se reduce proporcionalmente.

Costos de inversión y de operación

Los costos de construcción de esta tecnología representan de 20 a 50% menos que los costos del alcantarillado convencional en las poblaciones rurales de los Estados Unidos. En aquellas áreas donde ya existen tanques sépticos, la reducción de costos resultará mayor (de 40 a 70%). Los costos de operación de la tecnología incluyen, además del costo usual de mantenimiento de los colectores, la limpieza periódica de las cámaras sépticas.

Experiencias de operación y mantenimiento

Es necesario que la entidad operadora se asegure de que sólo existan conexiones a los colectores provenientes de tanques sépticos. Asimismo, esta entidad debe responsabilizarse de la extracción de lodos de los tanques sépticos –tarea que no puede ser delegada a los usuarios debido a que ellos difícilmente la harían y, tarde o temprano, los sólidos sedimentados ingresarían a los colectores, con el consiguiente riesgo de obstrucción– así como de su disposición y tratamiento adecuados. Resulta importante tomar en cuenta –como en el caso de los sistemas condominiales– la presión de los usuarios para ampliar sus viviendas y ocupar el espacio destinado a los colectores.

Figura 17: Registro de inspección

Referencias:

- “Guías Técnicas de Alcantarillados Decantados”. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia
- Sanitation Connection (www.sanicon.net)
- SANBASUR. Herberth Pacheco: herberth@sanbasur.org.pe

Tanque Imhoff, biofiltro Sabiango, Ecuador

Capítulo 4: Tecnologías alternativas de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones en las que éstas, transportadas por las redes de colectores de alcantarillado, son tratadas para reducir la cantidad de sustancias contaminantes y de organismos dañinos para la salud humana y para el ambiente.

De manera general, estas instalaciones son estructuras que almacenan las aguas residuales por un período determinado de tiempo durante el cual, por acciones químicas, físicas y biológicas naturales, se reduce el potencial contaminante a un nivel aceptable para el ambiente.

Existen diversas opciones tecnológicas para lograr este propósito. En la selección de un sistema de depuración para una pequeña localidad, deben priorizarse aquellas tecnologías que cumplan con los siguientes criterios:

- Requerir un gasto de energía mínimo o nulo
- Contar con procedimientos simples de operación y mantenimiento
- Garantizar un funcionamiento estable y eficaz frente a variaciones amplias de caudal y cargas orgánicas, fenómenos comunes en las aguas residuales de pequeñas localidades
- Simplificar el manejo de los lodos generados en el proceso

Entre las tecnologías que satisfacen estos criterios se encuentran las lagunas de estabilización, los filtros verdes y los procesos anaeróbicos tales como filtros anaerobios y Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA).

Las tecnologías que fueron presentadas en el Simposio y que se documentan a continuación son:

- Lagunas de estabilización
- Filtros verdes
- Biofiltros
- Filtros de turba
- Contactores biológicos rotativos

4.1 Lagunas de estabilización

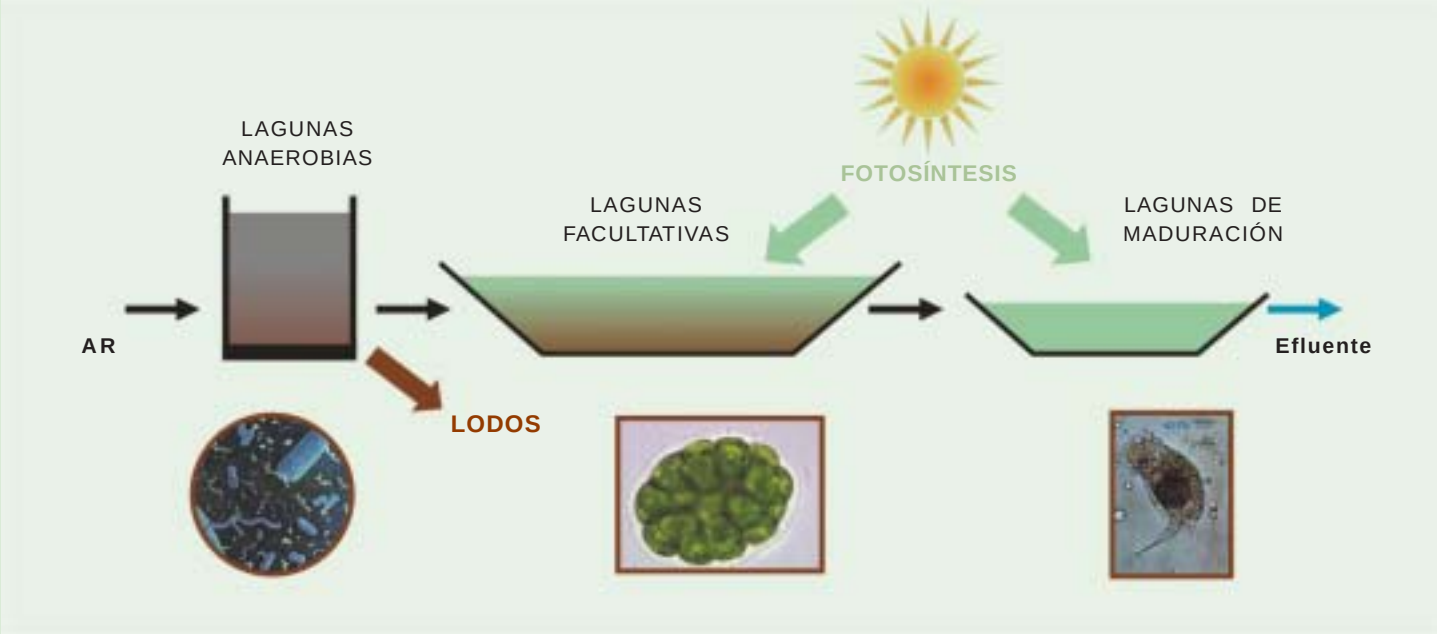
Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología preferente en los países en desarrollo, principalmente en aquellos que cuentan con climas cálidos y donde el costo de la tierra no es elevado. Esta tecnología ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales de ciudades grandes así como pequeñas localidades en América Latina.

Los sistemas de lagunas integrados por unidades anaerobias, facultativas y de maduración, con un tiempo promedio de 10 a 25 días –según la temperatura-, pueden producir efluentes que cumplan con las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en términos de calidad bacteriológica.

Descripción de la tecnología

Las lagunas de estabilización son estanques de cierta profundidad, construidos en tierra, con un revestimiento -principalmente de arcilla- en los taludes y el fondo, a fin de evitar la contaminación de las aguas freáticas. El funcionamiento de las lagunas se sustenta en dos formas primitivas de vida: algas y bacterias.

Figura 18: Esquema de un sistema de tratamiento por lagunas



Fuente: CENTA, 2004

Una planta puede estar integrada por una serie de lagunas, cada una con un propósito particular (figura 18):

Lagunas anaeróbicas. Son lagunas con profundidades mayores a los dos metros, cuyo propósito es tratar la materia orgánica contenida en el agua residual en condiciones de falta de oxígeno. No son muy eficientes en reducir la contaminación bacteriológica del agua.

Lagunas facultativas. Son lagunas con profundidades de uno a dos metros, con capacidad para reducir tanto la materia orgánica como la contaminación bacteriológica del agua. Estas lagunas son usualmente recomendadas para pequeñas localidades.

Lagunas de maduración. Son lagunas construidas después de las lagunas facultativas, con una profundidad de uno a 1.5 metros. Su propósito principal es reducir la contaminación bacteriológica del agua.

Ventajas	Desventajas
• El sistema puede operar sin ningún consumo energético • No existen averías de carácter electromecánico • Sencillez operativa • Gran estabilidad de operación, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica • Escasa producción de fangos ya estabilizados • Alto poder de reducción de microorganismos patógenos (permite la reutilización de las aguas depuradas)	• Requiere amplias áreas de terreno para su implantación • Estrecha dependencia de las condiciones climáticas • En el caso de las lagunas anaerobias pueden desprenderse olores desagradables • Pérdidas de agua por evaporación • Se observan elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el efluente • Existe riesgo de contaminación de acuíferos

A continuación se presentan parámetros referenciales de diseño, desarrollados para lagunas de estabilización en climas cálidos (CENTA, 2004):

• Lagunas anaerobias:	Profundidad: 4.0 a 5.0 metros Carga volumétrica: 150 a 200 g DBO_5 / m3·día Tiempo de retención hidráulica: 2 a 3 días
• Lagunas facultativas:	Profundidad: 1.5 a 2.0 metros Carga superficial: ~ 200 a 250 kg DBO_5 / hectárea·día Tiempo de retención hidráulica: 7 a 15 días
• Lagunas de maduración:	Profundidad: 0.8 a 1.0 metros Carga superficial: ~ 75 kg DBO_5 / hectárea·día Tiempo de retención hidráulica mayor a 5 días
• Superficie requerida: 5 m2 de lámina de agua por habitante	

Figura 19: Lagunas de estabilización en Colombia

Costos de inversión y de operación

A manera de ejemplo, en la tabla 10 se presentan costos de inversión así como de operación y mantenimiento de plantas con lagunas de estabilización, actualmente operadas por la Sociedad de Acueductos y Alcantarillados del Valle del Cauca, en Colombia.

Tabla 10: Costos de inversión, operación y mantenimiento en plantas de Colombia

Municipio	Población usuaria actual (habs.)	Costo inversión (US$/habitante) (*)	Costo de operación y mantenimiento (US$/habitante/mes) (**)	Detalles constructivos de la planta
Ginebra	8,985	2.93	0.166	Una laguna anaeróbica y otra facultativa, impermeabilizadas con arcilla por nivel freático alto
Guacari	19,155	2.96	0.024	Una laguna anaeróbica y dos facultativas, la primera impermeabilizada con geomembrana por el nivel freático elevado
La Unión	23,830	3.91	0.01	Una laguna anaeróbica y una facultativa. Taludes internos de la laguna facultativa protegidos con losas de concreto por la inestabilidad del terreno
Toro	10,070	6.15	0.023	Una laguna anaeróbica y una facultativa, impermeabilizadas con geomembrana por elevada permeabilidad del suelo

(*) Determinado en base a la población futura de diseño
(**) Determinado en base a la población usuaria actual y costos vigentes

Experiencias de operación y mantenimiento

Pese a la creencia generalizada de que este tipo de plantas requiere muy poca atención para su operación y mantenimiento, la experiencia en numerosas ciudades de América Latina demuestra la necesidad de contar con personal especialmente entrenado, así como con asistencia técnica externa que permita a las entidades operadoras de los servicios manejar con propiedad el proceso de depuración de aguas residuales. Igualmente, debe destinarse una cierta cantidad de recursos para labores de mantenimiento como limpieza, deshierbe y control del crecimiento de algas.

Referencias:

- CENTA – Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (www.plantacarrion-pecc.com)
- CEPIS (www.cepis.ops-oms.org)
- Sanitation Connection (www.sanicon.net)
- ACUAVALLE – Sociedad de Acueductos y Alcantarillados del Valle del Cauca
- Diego Corrales: dcorrales@acuavalle.gov.co; Farid Montenegro: fmontenegro@acuavalle.gov.co

4.2 Biofiltros

La tecnología de los biofiltros fue introducida en América Latina en Nicaragua con la implementación de una planta piloto en el año 1996. Los resultados obtenidos durante cinco años de monitoreo permitieron establecer criterios de diseño y construcción, así como las actividades necesarias para una operación y mantenimiento adecuados. A partir de esta experiencia se construyeron plantas similares en otras ciudades de Nicaragua, El Salvador y Honduras.

Descripción de la tecnología

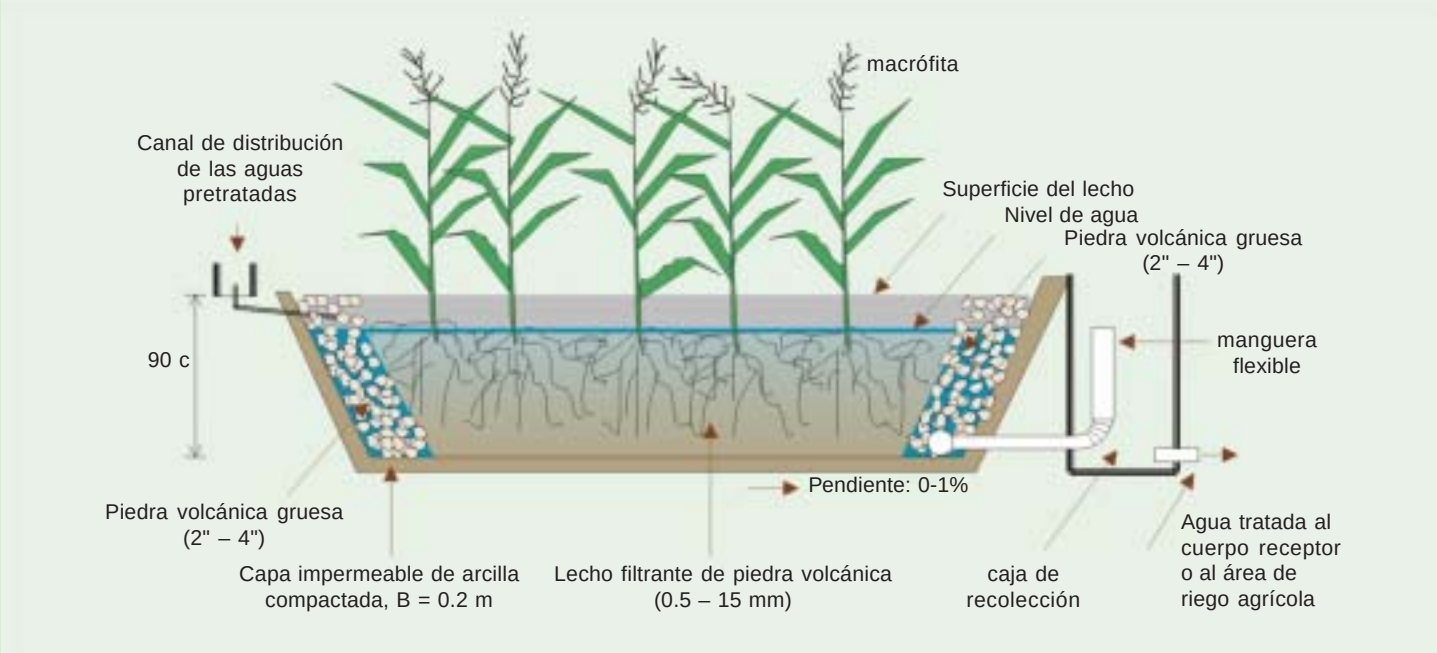
El biofiltro es un filtro biológico de grava o piedra volcánica, sembrado con plantas de pantano, a través del cual circulan aguas residuales pretratadas en un flujo horizontal o vertical. Las bacterias responsables de la degradación de la materia orgánica utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana.

El uso de biofiltros requiere procesos previos de tratamiento que garanticen una efectiva remoción de los sólidos suspendidos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. Estos procesos preliminares pueden consistir en una rejilla, seguida de un desarenador y unidades de sedimentación, como un tanque *imhoff* o un tanque séptico.

El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacterias aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica. Las aguas provenientes del tanque *imhoff* o cámara séptica se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del lecho filtrante y se infiltran hacia la zona de recolección del agua. El intervalo de alimentación del agua al filtro debe ser lo suficientemente amplio para permitir que toda el agua se haya infiltrado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire. Una vez instalado y operado adecuadamente, un biofiltro puede tener una vida útil prolongada en tanto exista un equilibrio entre el crecimiento y la muerte de las plantas y la reproducción de la masa bacteriana.

Las plantas a sembrarse pueden ser seleccionadas según el tipo de contaminante que se desea reducir en las aguas residuales. Se ha comprobado la efectividad del platanillo, zacate taiwan, carrizo y tule.

Figura 20: Sección de un filtro biológico de flujo horizontal



Fuente: CIEMA – UNI, Proyecto ASTEC

Ventajas	Desventajas
• El sistema puede operar sin ningún consumo energético • Inexistencia de averías al carecer de equipos electromecánicos • Sencillez operativa • Perfecta integración en el medio rural • Producción de biomasa vegetal (50 a 70 toneladas de materia seca/hectárea año)	• Se requiere un área de tamaño considerable para su implantación • Se generan lodos en el tratamiento primario

A continuación se presentan valores referenciales de diseño desarrollados para climas cálidos en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, de Andalucía (CENTA, 2004):

• Tanque Imhoff	Zona de decantación: tiempo de retención hidráulico = 1.5 horas a caudal máximo Zona de digestión: 70 litros por habitante equivalente (extracción semestral de lodos)
• Biofiltro	Superficie requerida: 5 m2 por habitante equivalente

Costos de inversión y de operación

En la tabla 11, y a manera de ejemplo, se presentan costos de inversión así como costos de operación y mantenimiento de plantas construidas en América Central.

Tabla 11: Costos de inversión, operación y mantenimiento en plantas en América Central

Planta y ubicación	Habitantes equivalentes	Costo inversión (US$/habitante)	Costo operación ymantenimiento (US$/habitante/mes)
Planta Salinas Grandes. Nicaragua	300	81.20	0.166
Planta Villa Bosco Monje. Masaya, Nicaragua	1,000	42.00	
Planta San José Las Flores. El Salvador	1,365	50.20	0.024
Planta Teupasenti. Honduras	2,812	32.80	0.01
Planta Chichigalpa. Nicaragua	8,753	45.70	0.023

En general, en aquellos sistemas que sirven a 1,000 o más pobladores, los costos de inversión fluctúan entre US$ 30 y 60 por persona. En términos de costos de operación, la planta piloto de Masaya requiere US$ 4 anual por persona. En la planta de La Providencia, un mayor número de personas conectadas determinó la reducción del costo a US$ 1.75 anual por persona.

Experiencias de operación y mantenimiento

Las actividades de operación y mantenimiento son sencillas y de bajo costo para cada etapa de tratamiento.

- Rejilla y desarenador: limpieza semanal de sólidos gruesos y material sedimentado usando pala y carretilla.

- Tanque *imhoff*: remoción de nata flotante una vez al mes usando pala y carretilla, y de los lodos sedimentados una vez al año mediante el tubo de purga instalado.
- Biofiltro: corte de las plantas sembradas en la superficie mediante el uso del machete, en función de su ciclo de crecimiento. Reposición del primer metro de lecho filtrante cuando se note un flujo superficial de agua (cada dos o tres años).

Figura 21: Planta de biofiltros en Andalucía, España

Referencias:

- CIEMA-UNI, Proyecto ASTEC.
  Vidal Cáceres: astec@ibw.com.ni
- CENTA – Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (www.plantacarrion-pecc.com)

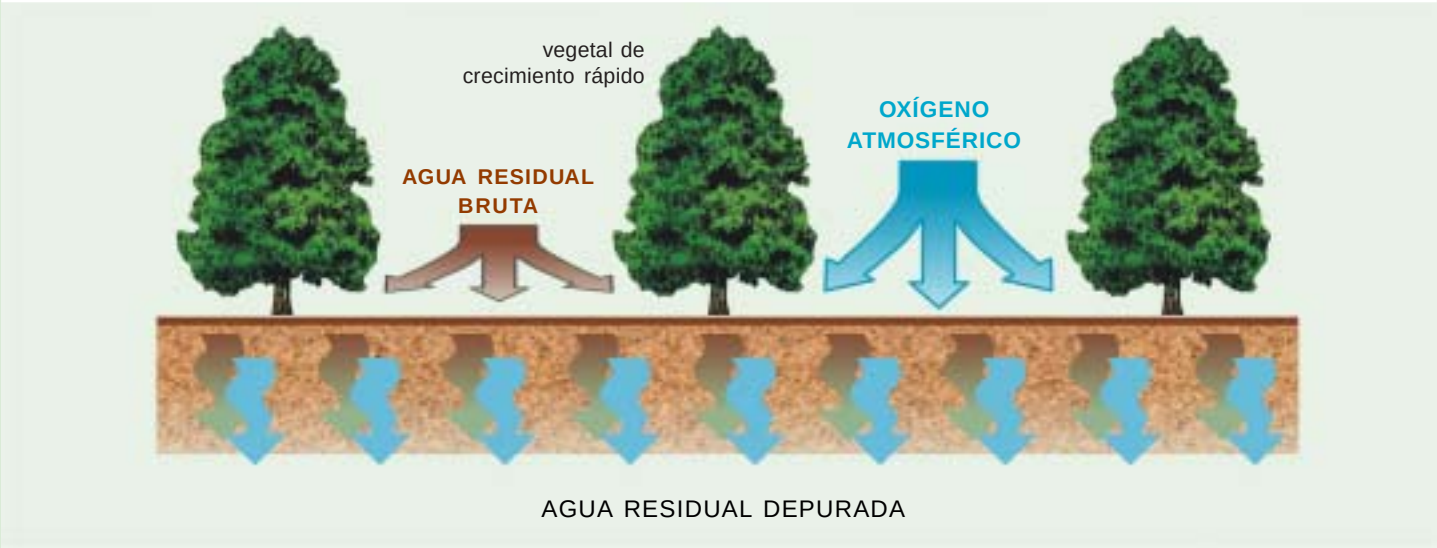
4.3 Filtros verdes

La tecnología de los filtros verdes fue desarrollada con éxito en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC), en el marco del Plan Andaluz de Tecnologías no Convencionales de España.

Descripción de la tecnología

La tecnología consiste en un sistema de aplicación al terreno, mediante la conformación de parcelas con vegetales de rápido crecimiento, los cuales son regados con aguas residuales pretratadas.

Figura 22: Esquema de un sistema de tratamiento con filtros verdes



Fuente: CENTA, 2004

Ventajas	Desventajas
• El sistema puede operar sin ningún consumo energético • No existen averías de carácter electromecánico • Sencillez operativa • Alcanza rendimientos de depuración muy elevados • No se manejan lodos • Admite aumentos en los caudales de aguas residuales ocasionados por incrementos poblacionales veraniegos • Potencial comercialización de la madera producida (40 m3 /ha.año, marco de plantación de 6 x 3 m.)	• Se requieren grandes superficies para su implementación • No es aplicable en zonas de elevada lluviosidad • Exigencias en el tipo de suelo a utilizar (permeabilidad, pendientes, existencia de acuíferos someros)

A continuación se presentan algunos valores de diseño referenciales, desarrollados por la Planta PECC (CENTA, 2004):

• Requisitos del terreno:	Permeabilidad: 5-50 mm./hora Profundidad de nivel freático: mayor a 1.5 metros Pendiente: 0 a 2%
• Carga hidráulica:	1,1 m./año
• Superficie requerida:	50 m2 por habitante equivalente (para valores de precipitación entorno a 500 mm./año y 900 mm./año de evapotranspiración)

Figura 23: Filtros verdes en Andalucía, España

Referencias:

- CENTA – Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (www.plantacarrion-pecc.com)

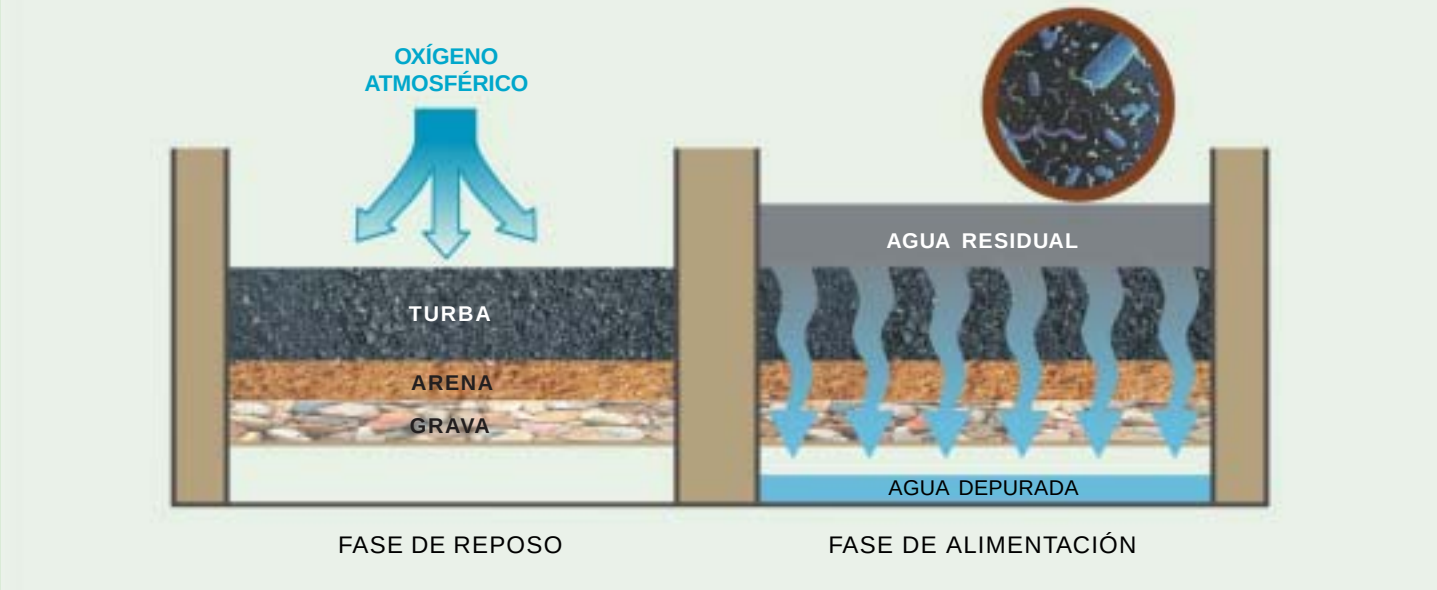
4.4 Filtros de turba

Los filtros de turba constituyen otra alternativa tecnológica para la depuración de aguas residuales en pequeñas localidades.

Descripción de la tecnología

La tecnología consiste en un sistema de aplicación del agua residual en filtros, compuestos por turba y arena, sobre una capa-soporte de grava. La capa de turba debe ser cambiada periódicamente, cada seis a ocho años de operación (figura 24).

Figura 24: Sección horizontal de un filtro de turba



Fuente: CENTA, 2004

Ventajas	Desventajas
• El sistema puede operar sin ningún consumo energético • Inexistencia de averías al carecer de equipos electromecánicos • Sencillez operativa • No se generan lodos, sino una costra seca fácilmente manipulable • Gran capacidad para soportar las oscilaciones de caudal y carga de las aguas a tratar • No se requieren grandes terrenos para su implantación	• Elevada dependencia de las condiciones pluviométricas • Mayor necesidad de mano de obra que en otras tecnologías no convencionales, al tener que procederse al final de cada ciclo de filtración a la regeneración de los filtros agotados • Necesidad de cambiar la turba cada seis a ocho años de operación

A continuación se presentan algunos criterios de diseño, desarrollados por el PECC (CENTA, 2004):

- Carga hidráulica: 0,6 m3 / m2 · d
- Carga orgánica: ≤ 0,30 kg DBO_5 / m2 · d
- Carga de sólidos: ≤ 0,24 kg / m2 · d
- Superficie total de filtración: dos veces la superficie activa
- Superficie requerida: 1 m2 de filtro por habitante equivalente

Figura 25: Filtros de turba en Andalucía, España

Referencias:

- CENTA – Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (www.plantacarrion-pecc.com)

4.5 Contactores biológicos rotativos

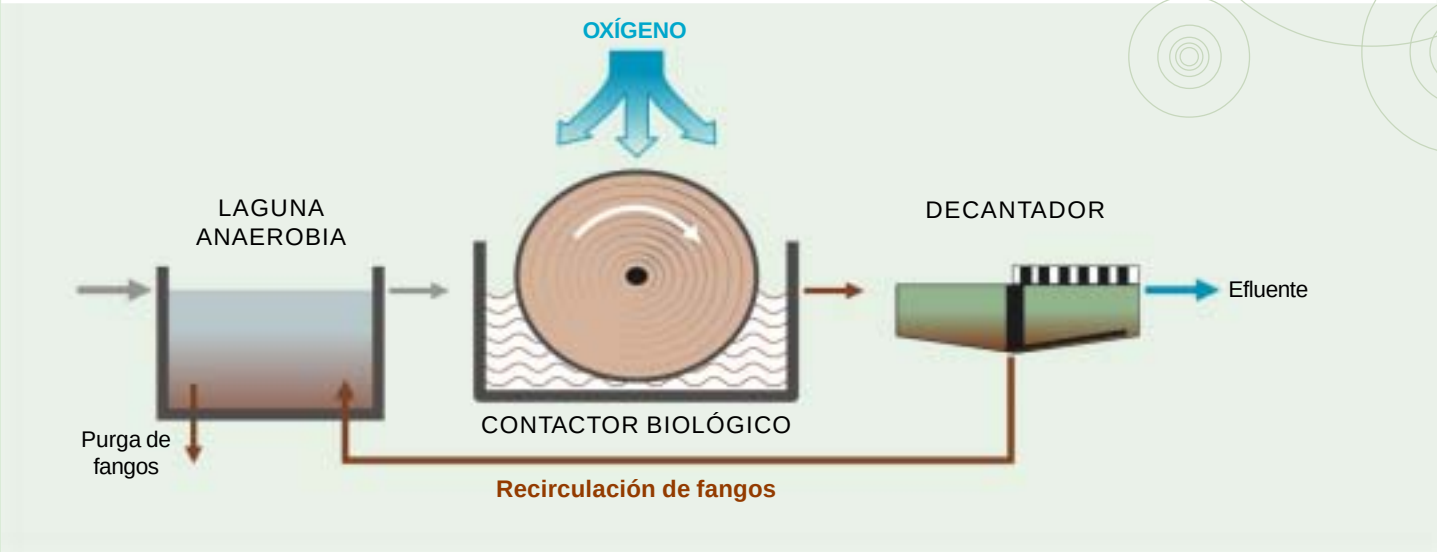
Los Contactores Biológicos Rotativos (CBR) constituyen otra alternativa tecnológica para la depuración de aguas residuales en pequeñas localidades. A diferencia de los procesos descritos anteriormente, los CBR constituyen un equipo electro-mecánico que requiere energía para su funcionamiento.

Descripción de la tecnología

La tecnología consta de una serie de procesos integrados por una laguna anaerobia que actúa como sedimentador y digestor de la materia orgánica sedimentable, seguida por el contactor biológico, que consiste en un disco circular conformado por numerosas láminas que incrementan su área superficial, el cual gira lentamente, y se encuentra parcialmente inmerso en el agua residual. Una película biológica crece en las láminas y, debido a la elevada área superficial, existe una gran capacidad de adsorción y estabilización de la materia orgánica. Los sólidos sedimentan en el decantador, y los lodos o fangos sedimentados son transferidos a la laguna anaerobia.

Ventajas	Desventajas
Con relación a las tecnologías convencionales:	Con relación a las tecnologías no convencionales:
• Menor consumo de energía • No es necesario recircular fangos • Mejor comportamiento ante la presencia de tóxicos • No precisa un control del nivel de oxígeno disuelto ni de sólidos en suspensión en el reactor biológico • Facilidad de construcción gradual • No se forman aerosoles • Bajo nivel de ruido por la baja potencia instalada • Las unidades de CBR se encuentran usualmente en recintos cubiertos, hecho que mantiene una temperatura más elevada en el agua a depurar y mejora el rendimiento en períodos fríos	• Costo elevado de instalación • Se requiere mayor energía • Posibilidad de averías electromecánicas • Explotación y mantenimiento más complejos • Generación de lodos que deben estabilizarse (se simplifica con la combinación Lagunas Anaerobio + CBR)

Figura 26: Diagrama de un Contactor Biológico Rotativo



Fuente: CENTA, 2004

A continuación se presentan algunos criterios de diseño, desarrollados por el PECC (CENTA, 2004):

- Carga orgánica: 13 g DBO_5 / m2 · d
- Carga hidráulica: 0,1 m3 / m2 · h
- Tiempo de retención: 2 h
- Superficie requerida: 0,1-0,2 m2 / habitante equivalente

Figura 27: Contactores biológicos rotativos

Referencias:

- CENTA – Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (www.plantacarrion-pecc.com)

La Quemazón, Piura, Perú

Conclusiones

Existen actualmente diversas tecnologías alternativas, de menor costo y con niveles de servicio equivalentes a los de las tecnologías convencionales, que pueden ser implementadas en pequeñas localidades. La ausencia de mecanismos de intercambio y de diseminación del conocimiento constituyen los factores críticos que limitan su mayor aplicación y perfeccionamiento.

En forma similar, para la provisión de servicios de agua y saneamiento sostenibles en pequeñas localidades no existe una única solución o una sola tecnología disponible. Es importante elaborar un menú de alternativas que permita a los encargados de tomar decisiones a nivel municipal y local, conocer las ventajas y desventajas de cada opción. A manera de ejemplo se presenta a continuación una serie de criterios para seleccionar tecnologías apropiadas de saneamiento en pequeñas localidades:

1. Elegir la opción tecnológica de acuerdo a la demanda

La selección de tecnologías para los sistemas debe responder a las circunstancias particulares de las localidades.
En el contexto de los enfoques orientados por la oferta, las decisiones han estado reservadas tradicionalmente a los profesionales. El paso hacia un enfoque de atención a la demanda implica otorgar un rol más importante a los usuarios que pagan las instalaciones. Por ejemplo, en el pasado existió la tendencia a considerar que los estándares convencionales de alcantarillado, de elevado costo, eran la única solución factible para el retiro de las excretas. Esta alternativa puede no ser accesible o apropiada en todas las áreas. Debe considerarse una gama más amplia de opciones.

2. Las tecnologías no convencionales contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas

En las áreas rurales, una vez que los pobladores alcanzan un mejor nivel de vida y sus viviendas una conexión de agua, la letrina sanitaria ya no resulta una solución satisfactoria. Se pueden lograr importantes mejoras en su calidad de vida mediante la introducción de unidades sanitarias sencillas conectadas a tanques sépticos in situ, sean individuales o compartidos. Allí donde el volumen de aguas servidas es demasiado grande o la capacidad de absorción del suelo es limitada como para una solución in situ, se requiere el desarrollo de soluciones no convencionales y la adopción de estándares de alcantarillado de menor costo. Existen conocidos esquemas de alcantarillado de bajo costo con arrastre de agua tales como los sistemas condominiales y sistemas de alcantarillado libres de sólidos. Las opciones de tratamiento de aguas servidas varían desde lagunas de estabilización hasta humedales y tanques sépticos colectivos.

3. Considerar capacidades locales para la operación y mantenimiento de los sistemas

La selección de procesos para el tratamiento y la disposición de aguas servidas involucra el análisis de aspectos técnicos, económicos, financieros, institucionales y ambientales. Sin embargo, persiste la necesidad de una mayor claridad en establecer objetivos y criterios de selección, así como indicadores sanitarios y la eliminación de agentes patógenos. En los criterios de selección de los procesos de tratamiento de los residuos debe prestarse mayor atención a la capacidad institucional local para la operación, mantenimiento y recuperación de costos. Una de las dificultades que presenta la implementación de nuevas tecnologías es el tiempo que requiere la evaluación de la operación y mantenimiento.

4. Buscar alternativas tecnológicas que puedan ser operadas por los mismos usuarios

Una ventaja importante de los sistemas in situ es que el propietario de la vivienda o el grupo de usuarios es responsable de efectuar y financiar íntegramente la operación y mantenimiento de las instalaciones. Aún cuando la construcción puede haber sido subsidiada, no se requieren subsidios a perpetuidad para cubrir los costos recurrentes, rasgo característico de los sistemas de alcantarillado.
El vaciado del pozo negro o tanque séptico es el principal costo operativo de los sistemas in situ. En contraste, la operación y el mantenimiento de un sistema de alcantarillado son considerablemente más complejos y requieren contar con una institución experimentada y competente que se responsabilice de tales tareas así como de los mecanismos para recuperar los costos recurrentes.

Fuente: Sara et al, 2004

Lecciones aprendidas

El debate realizado durante el evento y las conclusiones a las que se arribaron, permiten extraer las siguientes lecciones:

1. El empleo de tecnologías con menores costos de inversión y de operación y mantenimiento mejora las posibilidades de un uso más eficiente de los recursos financieros e incrementar la cobertura de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades, así como de efectuar rehabilitaciones y ampliaciones.

2. El aspecto tecnológico constituye una de las variables que deben ser tomadas en cuenta en la provisión de servicios sostenibles de agua y saneamiento. Resulta esencial atender a una demanda efectiva de la población, así como desarrollar modelos de gestión descentralizados.

Algunos técnicos que trabajan en pequeñas localidades no están familiarizados con las tecnologías alternativas de provisión de servicios de agua y saneamiento, o manifiestan temor y desconfianza de conocerlas y aplicarlas. En consecuencia, prefieren seguir diseñando y aplicando las tecnologías convencionales que les son familiares y con las que se sienten más seguros.

3. En algunos casos, la existencia de normas técnicas basadas en tecnologías convencionales y concebidas para medios urbanos, constituye un factor que limita y desalienta el desarrollo y la aplicación de tecnologías alternativas en pequeñas localidades.

4. La provisión de asistencia técnica para el manejo adecuado de los servicios de agua y saneamiento, particularmente cuando existen procesos de potabilización del agua o depuración de aguas residuales, resulta esencial. La experiencia en América Latina demuestra que, independientemente del grado de complejidad del sistema, es necesario un proceso de seguimiento y asistencia técnica periódico.

Pese a la creencia generalizada de que los procesos con tecnologías alternativas tales como filtros gruesos, filtros lentos de arena para el tratamiento de agua potable o lagunas de estabilización de aguas residuales requieren muy poca atención para su operación, la experiencia en su manejo y los problemas enfrentados en numerosas ciudades de América Latina demuestran la necesidad de contar con personal entrenado y acceder a servicios de asistencia técnica externa.

5. La implementación de centros para el desarrollo y promoción de tecnologías y provisión de asistencia técnica produce un impacto positivo en el desarrollo de recursos humanos capacitados, adecuación de tecnología al medio local y promoción de nuevas tecnologías. El éxito de esta estrategia ha sido ilustrado por el caso de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC) en Andalucía, España, el Instituto CINARA en Colombia y CEPIS en Perú.

Bibliografía

Bodero, Maria Elena (2003). Los servicios de agua y saneamiento en el Perú: un diagnóstico y estadísticas. Programa de Agua y Saneamiento.

CENTA – Junta de Andalucía. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. www.plantacarrion-pecc.com

Foster, Vivien (2001). Sistemas condominiales de agua y alcantarillado: costos de implementación del modelo. Programa de Agua y Saneamiento.

Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS (Resolución No. 1096 de 2000). Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia.

Ministerio de Servicios y Obras Públicas (2002). Plan Bolivia – Sector Agua y Saneamiento. Ministerio de Servicios y Obras Públicas. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2003). Estudios de base para la implementación de proyectos de agua y saneamiento en el área rural. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos (2001). Plan Nacional de Saneamiento Básico 2001-2010. Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos (2001). Norma Bolivia NB 688: Instalaciones Sanitarias, Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos. La Paz, Bolivia.

OPS/OMS (2001). Informe Regional sobre la Evaluación 2000 en la Región de las Américas. Organización Panamericana de la Salud/ División de Salud y Ambiente, Washington DC.

Pilgrim, Nick, Robert Roche y William Kingdom (2004). Town Water Supply. Bank-Netherlands Water Partnership (BNWP), Project #43, Town Water Supply and Sanitation Initiative, Banco Mundial, Washington DC.

Programa de Agua y Saneamiento (2002). Los servicios de agua y saneamiento en pequeñas ciudades. Los operadores privados en Colombia. Nota de campo. Programa de Agua y Saneamiento.

Programa de Agua y Saneamiento (2004). Proyecto Piloto en Pequeñas Localidades del Perú. Tríptico.

Programa de Agua y Saneamiento (2004). Simposio Internacional de Tecnologías Alternativas de Agua y Saneamiento para Pequeñas Localidades, realizado en Lima, Perú. Programa de Agua y Saneamiento; OPS; ACDI; COSUDE; Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento.

Programa de Agua y Saneamiento (2004). Estudio Sectorial de los Servicios de Agua y Saneamiento en pequeñas localidades del Perú; HYTSA-ECSA, Informe Final, Lima, Perú.

Sara, Jennifer y Menendez, Aurelio (2004). Rural Infrastructure in Chile: Enhancing Efficiency and Sustainability. Banco Mundial.

Schiller, Eric (2001). Appraisal of Water and Sanitation Services in Small Towns in Peru. Programa de Agua y Saneamiento.

Water, Engineering, and Development Centre (WEDC) (2000). Summary Report on the Small Towns Water and Sanitation Electronic Conference. WEDC, Leicestershire, UK.

Sitios web:

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS): http://www.cepis.ops-oms.org

Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA): http://www.cinara.org.co

Instituto Nacional de Estadística (Bolivia): http://www.ine.gov.bo

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática - INEI (Perú): http://www.inei.gob.pe

International Water and Sanitation Center (IRC): http://www.irc.nl

Junta de Andalucía, España. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes: http://www.plantacarrion-pecc.com

Sanitation Connection: http://www.sanicon.net

Water and Sanitation Program (WSP): http://www.wsp.org

The World Bank (WB): http://www.worldbank.org

Construcción de tanque de ferrocemento, Cusco, Perú

Directorio de expositores

Bolivia

Alberto Chávez Vargas
Gerente de Operaciones y Planificación
Aguas de Illimani S.A.
Dirección: Av. Las Américas # 705.
Villa Fátima – La Paz
Teléfono: (591-2) 221-0295 / 221-2231
E-mail: chaveza@aguasdelillimani.com

Alfonso Alvéstegui Justiniano
Consultor Internacional – Banco Mundial
Dirección: Av. Sánchez # 6318
Irpavi – La Paz
Teléfono: (591-2) 272-1457
(591) 715-64734
E-mail: alfalvestegui@yahoo.com

Brasil

Joao Miranda Neto
Gerente de Operación,CONDOMINIUM
Empreendimentos Ambientais LTDA
Parauapebas/Pará
Teléfono: (94) 356-0507 /
356-1932 / 9663-8966
E-mail: mirandaneto@hotmail.com

Savio Nunes
Ingeniero de Proyectos y Obras
de Ferrocemento, COPASA-Compañia
de Saneamiento de Minas Gerais
Dirección: Rua Mar de Espanha # 453
Barrio Santo Antonio
CEP 30 330-270 – Belo Horizonte
Teléfono: (55-31) 3250-1840 / 3250-1441
E-mail: savio.nunes@copasa.com.br
dvgi@copasa.com.br

Colombia

Alberto Galvis Castaño
Profesor Titular
Instituto CINARA – Colombia
Teléfono: (57-2) 330-8961 / 339-2345
E-mail: algalvis@calipso.com.co
algalvis@univalle.edu.co

Carlos Mira
Gerente de ACUAVALLE
CALLE 56 N # 3 N 19 Cali
Teléfono: (57-2) 654-1022 / 664-2271
E-mail: cmira@acuavalle.gov.co

España

Juan José Salas Rodríguez
Subdirector de Gestión de Proyectos
CENTA – España
Av. Américo Vespucio, 5 Edif. Cartuja
Bl. A – Pl. 2 Mod.10
Isla de la Cartuja 41092 Sevilla
Teléfono: (34) 9547-55834
E-mail: info@plantacarrion-pecc.com

Juan Pidre Bicado
Subdirector de Gestión de Proyecto
CENTA – España
Av. Américo Vespucio, 5 Edif. Cartuja
Bl. A – Pl. 2 Mod.10
Isla de la Cartuja 41092 Sevilla
Teléfono: (34) 9547-55125
E-mail: jrpidre.centa@retemail.es
pecc.centa@retemail.es

México

Ron Sawyer
Director Sarar Transformación SC
Consultor PNUD
AP 8,Tepoztlán, Morelos
Teléfono: 52 (739) 395-0364 / 395-3001
E-mail: rsawyer@laneta.apc.org

Nicaragua

Vidal Cáceres Antón
Ingeniero de Proyectos en Ingeniería
Sanitaria
Proyect ASTEC-Austria
UNI-CIEMA, Nicaragua
Dirección: Universidad Nacional de
Ingeniería
Recinto RURAP, Villa Progreso,
Costado Sur
Teléfono: (505) 249-0936
E-mail: astec@ibw.com.ni

Perú

Guillermo León
Director Nacional de Saneamiento.
Vice Ministerio de Construcción y
Saneamiento
Teléfono: (51-1) 211-7930
E-mail: gleon@vivienda.gob.pe

María Angélica Sotomayor
Oficial de Proyecto. Departamento
de Finanzas, Sector Privado e
Infraestructura
Región América Latina y El Caribe
Washington – Banco Mundial
Teléfono: (202) 473-5580
E-mail: msotomayor@worldbank.org

Ricardo Rojas Vargas
Asesor Técnico
Centro Panamericano de Ingeniería
Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS
Dirección: Los Pinos 259,Urb. Camacho
La Molina, Lima 12
Teléfono: (51-1) 437-1077
E-mail: rrojas@cepis.ops-oms.org

Alfredo Chang Sánchez
Asesor de Infraestructura
Agua y Saneamiento
CARE-Perú, Oficina Regional Piura
Av. Grau # 680 – Segundo Piso
Teléfono: (51-1)(073) 304-675 anexo 216
E-mail: changa@piura.care.org.pe

Sergio Rolim Mendonca
Asesor Regional en Sistemas Residuales,
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
y Ciencias del Ambiente – CEPIS
Dirección: Los Pinos 259, Urb. Camacho
La Molina, Lima 12
Teléfono: (51-1) 437-1077
E-mail: srolimme@cepis.ops-oms.org

Jaime Salcedo Lobatón
Jefe del Proyecto Ampliación de la Cobertura
PAC – SEDAPAL
Gerente del Proyecto “Mejoramiento Sanitario
de las Áreas Marginales de Lima y Callao”
Dirección: Centro Operativo Principal
La Atarjea – Autopista Ramiro Prialé # 210.
El Agustino
Teléfono: (51-1) 317-3095
E-mail: jsalcedo@sedapal.com.pe

Herberth Pacheco de la Jara
Evaluador de Planta
SANBASUR – Cusco
Dirección: Calle Yuraqpunku # 79
Barrio Tahuantinsuyo
Teléfono: (51-1) 084-24-2582
Fax: (51-1) 084-24-2667
E-mail: herberth@sanbasur.org.pe

Programa de Agua y Saneamiento
Región América Latina y el Caribe
Oficina Banco Mundial, Lima.
Avenida Alvarez Calderón Nº 185,
San Isidro, Lima 27, Perú

Teléfono (511) 615-0685
Fax (511) 615-0689
E-mail: wspandean@worldbank.org
Sitio Web http://www.wsp.org

wsp
water and
sanitation program