

MODULO 5:
CONCEPTOS DESCENTRALIZADOS PARA
SANEAMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES
(INCLUYENDO ECOSAN)



CITRAR
UNI-FIA

Modulo 5. Conceptos descentralizados para saneamiento y tratamiento de aguas residuales (incluyendo ECOSAN).

Modulo de enseñanza desarrollado dentro del Proyecto LIWA. Sustainable Water and Wastewater Management in Urban Growth Centres Coping with Climate Change – Concepts for Metropolitan Lima (Perú).

Authors:

MSc. Ing. Rosa Elena Yaya Beas.

Ing. Zarela García Trujillo

Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos peligrosos

Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental.

December 2012.

Portada: Fotografías tomadas en la localidad de Nievería en el Centro Poblado Menor de Santa María de Huachipa del distrito de Lurigancho y en el Colegio San Christoferus ubicado en el distrito de Chorrillos; ambos en Lima Metropolitana.

Agradecimientos

Se agradece la valiosa participación de las siguientes personas, gracias a las cuales fue posible el desarrollo del presente curso:

- Bach. Miguel Quiroz Mantari
- Bach. Christian Ayala Limaylla
- Sr. Jose Antonio Gutierrez Yupanqui
- Ing. Jorge Zavaleta Durán

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1-1
1.1.	Aguas Residuales	1-1
1.1.1.	Clasificación de Agua Residual	1-2
1.1.2.	Constituyentes del Agua Residual	1-3
1.1.3.	Orina y Heces	1-3
1.1.4.	Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta	1-6
1.2.	Reciclaje	1-8
1.3.	Saneamiento	1-10
1.3.1	Objetivos del saneamiento	1-10
1.3.2	Limitaciones para el Saneamiento Convencional	1-10
1.3.3	Enfermedades relacionadas con el Saneamiento	1-10
1.3.4	Eliminación de agentes patógenos.	1-13
1.3.5	Destrucción de agentes patógenos por etapas	1-15
1.3.6	Tratamiento de aguas residuales	1-16
2	SISTEMAS DE SANEAMIENTO	2-17
2.1.	Sistemas centralizados	2-17
2.1.1	Sistema Convencional de Saneamiento	2-17
2.1.2	Sistema Condominial de Saneamiento	2-20
2.2.	Sistemas descentralizados	2-22
2.3.	Esquemas de sistemas de saneamiento	2-23
3	SANEAMIENTO ECOLÓGICO (ECOSAN)	3-1
3.1.	Origen de ECOSAN	3-2
3.2.	Eco-inodoro: separación de la orina y deshidratación de heces	3-3
3.3.	Consumo de agua potable	3-4
3.4.	Grado de contaminación	3-4
3.5.	Volumen de aguas grises	3-6
3.6.	Protección de la salud	3-6
3.7.	Prácticas adecuadas de higiene	3-7
3.8.	Aspectos socio-culturales	3-7
3.9.	Participación de usuarios y autoridades	3-7
3.10.	Seguimiento de proyectos	3-7

3.11. Sistemas sanitarios aplicando ECOSAN.....	3-8
3.10.1. Sistemas sanitarios basados en la deshidratación	3-9
3.10.2. Sistemas sanitarios basados en la descomposición (composta)	3-17
3.12. Experiencias con ECOSAN en Lima	3-25
3.11.1. La experiencia de Nievería.....	3-26
3.11.2. La experiencia en Huáscar.....	3-31
3.11.3. La experiencia del Colegio San Christoferus.....	3-33
4 CONCLUSIONES GENERALES.....	4-39
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5-40

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Cantidades y proporcionalidades de las aguas negras y grises en un Sistema Convencional</i>	1-3
Figura 2 <i>Opciones para el manejo y uso de la orina separada</i>	1-4
Figura 3 <i>El diagrama .ANO-MANO-BOCA</i>	1-11
Figura 4 <i>Esquema de los inconvenientes de los sistemas convencionales para el manejo de aguas residuales. Fuente: Peralta (2007)</i>	2-19
Figura 5 <i>Esquema del sistema condominial</i>	2-21
Figura 6. <i>Sistema de pozo simple:(a) en funcionamiento,(b) cuando el pozo está lleno y (c) uso futuro del pozo simple y traslado de la caseta en otro punto donde se ubique otro pozo</i>	2-23
Figura 7 <i>Esquema del Sistema de pozo simple</i>	2-24
Figura 8 <i>Sistema sin agua con pozos alternos. Fuente propia</i>	2-25
Figura 9 <i>Esquema del Sistema 2</i>	2-26
Figura 10 <i>Sistema de arrastre hidráulico con pozos dobles</i>	2-27
Figura 11 <i>Esquema del Sistema de arrastre hidráulico con pozos dobles</i>	2-28
Figura 12 <i>Sistema sin agua con separador de orina. Fuente propia</i>	2-29
Figura 13 <i>Retrete seco con separador de orina (izquierda) y froma de limpieza del retrete (derecha)</i>	2-29
Figura 14 <i>Esquema del Sistema 4</i>	2-30
Figura 15 <i>Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración</i>	2-31
Figura 16 <i>Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración</i>	2-32
Figura 17. <i>Sistema de tratamiento de aguas negras con alcantarillado</i>	2-33
Figura 18 <i>Sistema de tratamiento de aguas negras con Alcantarillado</i>	2-34
Figura 19 <i>Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con Alcantarillado</i>	2-35
Figura 20 <i>Sistema de alcantarillado con separador de orina</i>	2-36
Figura 21 <i>Esquema del Sistema de Alcantarillado con separador de orina</i>	2-37
Figura 22 <i>Sistema de biogás con o sin separador de orina</i>	2-37
Figura 23 <i>Esquema del Sistema de biogás con o sin separador de orina</i>	2-1
Figura 24 <i>Ecoinodoro: Taza separadora donde el transporte de excretas no requiere</i>	3-4
Figura 25 <i>Tecnología de separación de orina de 1999</i>	3-8
Figura 26 <i>La separación de aseo en cuclillas en China, Diseño de Lin Jiang</i>	3-8
Figura 27. <i>La orina de separación de aseo para los sistemas de alcantarillado de vacío</i>	3-9
Figura 28 <i>Las cámaras de tratamiento del sanitario vietnamita con una losa</i>	3-10
Figura 29 <i>Un sanitario LASF en construcción</i>	3-11
Figura 30 <i>Sanitario de doble cámara dentro del cuarto de baño en una vivienda moderna. Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)</i>	3-11
Figura 31 <i>La separación de sanitario seco en México. Fuente: Schlick J. y Werner C. (2001)</i> ..	3-12

Figura 32 <i>Un sanitario seco WM Ekologen, instalado en el interior de una casa en Suecia. Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)</i>	3-12
Figura 33 <i>Los sanitarios secos en la comunidad de Tecpan, en El Salvador</i>	3-13
Figura 34 <i>Se utiliza un .empujador para echar las heces y cenizas</i>	3-13
Figura 35 <i>Sanitario con doble cámara y calentadores solares en el Ecuador. Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)</i>	3-15
Figura 36 <i>Instalación en China (Otterpohl 2007) y en Ecuador (Aragundy y Zapata, 2003)</i> .	3-15
Figura 37 <i>Sanitarios secos en una vivienda urbana de varios pisos, en Yemen</i>	3-16
Figura 38. <i>Sanitario seco tradicional al interior de la vivienda en Ladakh, India</i>	3-16
Figura 39 <i>Baño de composta Clivus Multrum, en un sótano en Suecia.</i>	3-18
Figura 40 <i>Abono inodoro en Hamburgo, Berger Biotechnik, Hamburg</i>	3-18
Figura 41 <i>El sanitario de composta. Carrusel de Noruega</i>	3-20
Figura 42 <i>La separación de instalación en seco en la construcción residencial en México, Fuente: S. Esrey, (1998)</i>	3-21
Figura 43 <i>Un sanitario de composta con desviación de líquidos</i>	3-22
Figura 44 <i>El sanitario de composta CCD</i>	3-23
Figura 45 <i>El sanitario de doble cámara en Kerala</i>	3-25
Figura 46 <i>Ubicación de los proyectos pilotos de ECOSAN en el cono este de Lima.</i>	3-26
Figura 47 <i>Esquema de un sistema ECOSAN seca con separación de orina. Fuente propia</i> .	3-28
Figura 48 <i>El subsistema técnico a nivel doméstico</i>	3-29
Figura 49 <i>El sub-sistema vecinal de Nievería</i>	3-30
Figura 50 <i>Esquema del sistema del proyecto Huáscar</i>	3-32
Figura 51 <i>Tratamiento de aguas grises. Fuente: propia</i>	3-34
Figura 52 <i>Tratamiento de la orina y heces</i>	3-35
Figura 53 <i>Tratamiento de aguas negras</i>	3-36

Lista de Tablas

Tabla 1. Componentes de los desagües convencionales	1-3
Tabla 2. Patógenos que podrían ser excretados en la orina y la importancia de la orina como ruta de transmisión.....	1-8
Tabla 3. Condiciones ambientales que estimulan la muerte de patógenos.....	1-14
Tabla 4. Periodos de sobrevivencia, en días, en condiciones distintas de aislamiento/tratamiento	1-15
Tabla 5. Tecnologías del Sistema de pozo simple	2-25
Tabla 6. Tecnología de recolección, almacenamiento y tratamiento para sistema sin agua con pozos alternos	2-26
Tabla 7. Tecnologías para el sistema sin agua con separador de orina	2-30
Tabla 8. Tecnología para el sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración	2-32
Tabla 9. Tecnología para el Sistema de biogás con o sin separador de orina	2-38
Tabla 10. Soluciones ECOSAN, módulos de baños con deshidratación.....	3-26
Tabla 11. Costos directos de los sistemas implementados del proyecto Nievería	3-28
Tabla 12. Calidad de los efluentes tratados.	3-31
Tabla 13. Costos de implementación del proyecto y sus partes.....	3-33

Module 5. Conceptos descentralizados para saneamiento y tratamiento de aguas residuales (incluyendo ECOSAN).

1 INTRODUCCIÓN

La palabra "saneamiento" es actualmente un término de importancia para la salud de una comunidad y el medio ambiente; sin embargo es escaso e inadecuado provocando niveles muy altos de enfermedades, desnutrición y muerte. Algunos de los factores son: la escasez del agua, falta de espacio, fuentes de financiamiento deficientes, condiciones desfavorables del suelo y capacidad institucional limitada.

Las limitaciones de la disponibilidad del recurso agua en muchas zonas rurales y periurbanas del Perú y el mundo, y el crecimiento poblacional se presentan conjuntamente con la falta de sanitarios y servicios inadecuados de saneamiento; lo que han determinado en buscar una alternativa frente a los sistemas tradicionales convencionales de saneamiento, un concepto innovador que se ha desarrollado en los últimos años a nivel global es el saneamiento ecológico (conocido como ECOSAN).

Dentro de los principios básicos planteados por ECOSAN se busca la protección de la salud humana y la conservación de recursos naturales mediante plantas de tratamiento propias y puedan beneficiarse del agua tratada por medio del reciclaje de nutrientes a nivel local (Calizaya y Gauss, 2006).

A continuación se presentan los conceptos básicos relacionados al saneamiento.

1.1. Aguas Residuales

Diariamente desde que nos levantamos usamos el agua potable para diferentes necesidades, por ejemplo: cuando jalamos la palanca del tanque del inodoro, enjuagamos los dientes, preparamos el café, lavamos los utensilios para comer y nuestra ropa. Entonces el agua ya utilizada, conocida también como agua servida o agua residual es aquella generada luego de haber sido utilizada en distintos procesos de la vida del ser humano y tiene un destino del cual es necesario conocer.

1.1.1. Clasificación de Agua Residual

- a) **Aguas blancas o de lluvia:** Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. Las cargas contaminantes se incorporan al agua al atravesar la lluvia la atmósfera, o por el lavado de superficies y terrenos.
- b) **Aguas grises:** Son las aguas generadas al lavar alimentos, ropa y utensilios de cocina, así como de la regadera y la bañera. Pueden contener pequeñas cantidades de excremento y, por lo tanto, también contener patógenos. Las aguas grises abarcan aproximadamente el 60% de las aguas de disposición final producidas en las residencias con inodoros de agua. Contiene relativamente poca concentración de patógenos en comparación con las aguas negras y su contenido de nitrógeno es solo 10–20% del de las aguas negras (Tilley, 2011). En una ciudad, un adulto genera entre 15000 a 30000 litros de aguas grises al año (Esrey, 1999).
- c) **Aguas negras:** Son la mezcla de orina, heces y agua de arrastre junto con agua de limpieza anal y/o material seco de limpieza (por ejemplo papel higiénico). Las aguas negras contienen todos los patógenos de las heces y todos los nutrientes de la orina, diluidos en agua de arrastre (Tilley, 2011). Sus volúmenes son menores, sus caudales más continuos y su contaminación mucho mayor. Un adulto genera de 25 a 50 Kg de heces, y entre 400 y 500 litros de orina al año, las cuales llegan a contaminar hasta 2500 litros del agua potable (Esrey, 1999).
- d) **El agua de limpieza anal:** Es agua recolectada que ha sido usada para limpiarse después de defecar y/o orinar. Es sólo una porción de agua generada por el usuario y no incluye materiales secos. El volumen de agua recolectada durante la limpieza anal oscila entre 0.5L hasta 3L por limpieza (Tilley, 2011).
- e) **Agua de arrastre:** Es el agua utilizada para transportar las excretas desde la interfase del usuario a la siguiente tecnología. Puede ser agua cruda o tratada, agua de lluvia, aguas grises recicladas, o cualquier combinación de éstas puede usarse como fuente de Agua de Arrastre (Tilley, 2011).

- f) **Aguas cafés:** Consisten en heces y agua de arrastre (aunque en realidad siempre hay algo de orina, ya que sólo se desvía el 70–85% de la orina). Las aguas cafés son generadas por los retretes de arrastre hidráulico que desvían la orina, y, por lo tanto, el volumen depende de la cantidad de agua utilizada. La carga de patógenos y de nutrientes de las heces no se reduce, sólo se diluye por el agua. (Tilley, 2011).

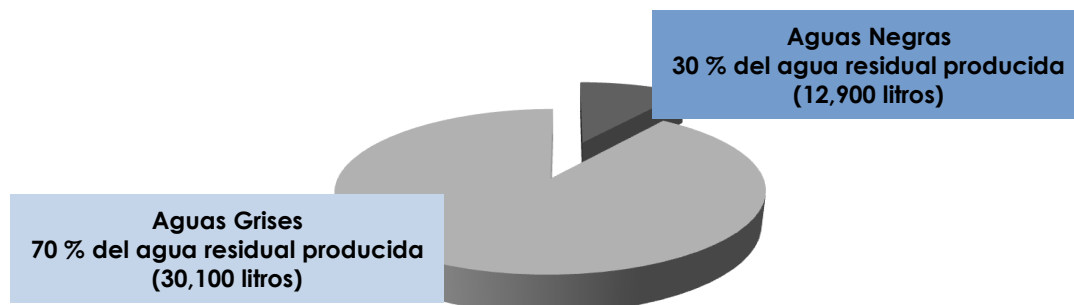


Figura Cantidades y proporcionalidades de las aguas negras y grises en un Sistema Convencional.

Fuente: Elaborado a partir de Roman A., Winker M., Tetenbron F.y Ottopohl R., (2007).

Tabla . Componentes de los desagües convencionales

Producto	Cantidad producida persona/año	Características Microbiológicas	Nitrógeno persona/año	Fósforo persona/año	Potasio persona/año
Orina	400 litros	Bajo contenido de patógenos. Mayor contenido de hormonas y restos de medicamentos.	4 Kg	400 g	900 g
Heces	25 a 50 Kg	Alto contenido de patógenos.	550 g	180 g	370 g

Fuente: Elaboración propia a partir de Jönsson, H. (1997)

1.1.2. Constituyentes del Agua Residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Entre los constituyentes, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, por lo tanto los sistemas de manejo de aguas residuales debe estar diseñada para su remoción.

1.1.3. Orina y Heces

1.1.3.1 Orina

La mayor parte de los nutrientes de la excreta humana se encuentran en la orina. Un adulto podría producir cerca de 400 litros de orina al año, que a su vez contienen 4 Kg

de nitrógeno, 400g de fósforo y 900g de potasio (Esrey et al, 2009). Sería muy beneficioso que estos nutrientes se encuentren en la forma ideal para ser aprovechados por las plantas: el nitrógeno en forma de urea, el fósforo como ortofosfato de calcio (conocido comercialmente como superfosfato) y el potasio en forma de ion. La proporción de estos nutrientes en la orina es más apropiada, si se compara con la cantidad y la proporción de nutrientes de los fertilizantes industrializados que se usan en la agricultura.

Una ventaja considerable se debe a las concentraciones de metales pesados en la orina humana que se encuentran únicamente en trazas (concentraciones excesivamente menor que las encontradas en la mayoría de los fertilizantes industriales).

Cuando la orina se recolecta para utilizarse como fertilizante, es importante almacenarla de tal manera que se eviten olores y la pérdida del nitrógeno en el aire.

Dentro de los conceptos de saneamiento ecológico se considera que la orina humana podría usarse como fertilizante, un producto casero, o recolectarse a nivel comunitario, para su uso posterior por los productores agrícolas. La figura a continuación muestra los diferentes usos que se le puede dar a la orina (Esrey et al, 1999).

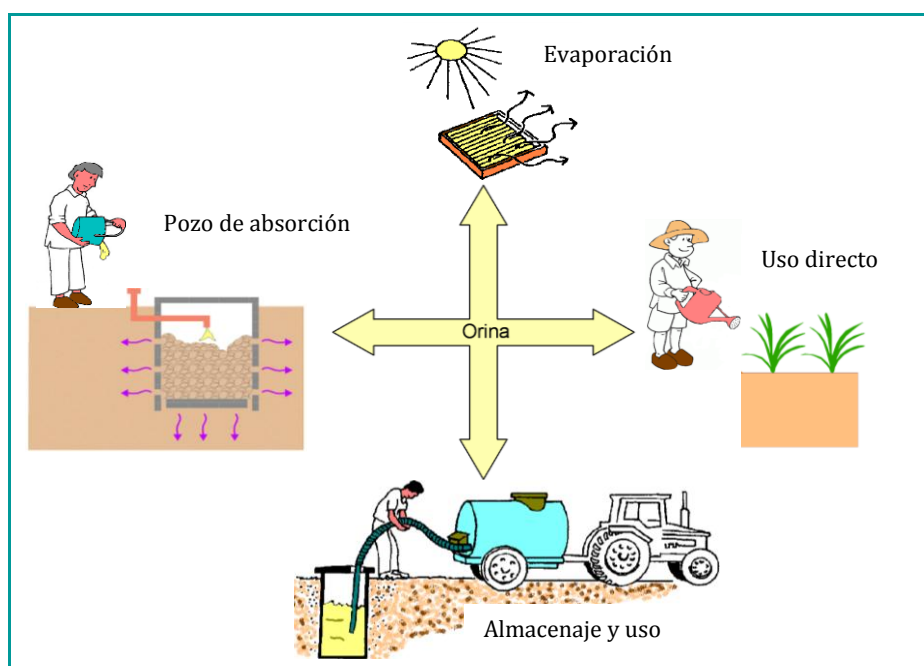


Figura Opciones para el manejo y uso de la orina separada.
Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al, (1999).

Cada vez hay más experiencia en la recolección de nutrientes, por ejemplo existen varios fabricantes de tazas (inodoros) desviadoras de orina. La mayor parte de estas tazas se instalan en sistemas a pequeña escala para satisfacer las necesidades de viviendas familiares.

Además de otros logros, hasta el momento las investigaciones han demostrado que la mayor parte de los nutrientes en la orina no se pierden en el proceso de recolección y almacenaje, y que el efecto fertilizador de la orina es casi tan bueno como el de los fertilizantes industrializados, usados en cantidades similares. (Esrey et al, 1999)

1.1.3.2 Heces

En general, las heces humanas se componen principalmente de materia orgánica no digerida, como las fibras de carbón. Si bien las heces contienen menos nutrientes que la orina, son un acondicionador valioso de suelos. Después de la destrucción de patógenos por deshidratación y/o descomposición, el material inofensivo que resulta puede aplicarse al suelo para incrementar la cantidad de material orgánico, mejorando así su capacidad para la retención de líquidos e incrementar la accesibilidad de los nutrientes (Esrey et al, 1999).

El humus es un material café/negro terroso que resulta de la materia orgánica descompuesta, también contribuye a mantener una población adecuada de organismos del suelo, que proteja efectivamente a las plantas de enfermedades que tienen su origen en el suelo. Generalmente el humus está suficientemente desinfectado como para usarla de manera segura en la agricultura. Debido a la filtración, algunos nutrientes se pierden, pero el material aún es rico en nutrientes y materia orgánica.

El eco-humus que se genera de la tecnología de recolección, almacenamiento y tratamiento puede ser retirado y transportado manualmente para su uso y/o disposición final usando una tecnología de transporte por medios humanos. Considerando que se ha experimentado una degradación significativa, el material húmico es bastante seguro en su manejo y uso en la agricultura (Tilley, 2011).

La manera más sencilla de reciclar heces podría ser cuando un habitante usa el producto como fertilizante en su propio jardín o en su propia tierra de cultivo

manteniendo lógicamente los cuidados necesarios para evitar contaminarse. En áreas urbanas no todos los habitantes tienen la voluntad de reciclar las heces por sí mismos.

1.1.4. Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta

La prevalencia de infecciones es un espejo de la situación higiénica en la sociedad. Los individuos podrían portar enfermedades bacterianas y virales, estos individuos en este caso se denominan “portadores”. La presencia de los comúnmente denominados gusanos parásitos (helmintos) puede establecerse por periodos prolongados de tiempo en el cuerpo humano y tener una alta tasa de prevalencia en sociedades con condiciones insalubres. (Schönning, 2004).

Un individuo normalmente excretará grandes cantidades de microorganismos en la materia fecal, los que provienen de la flora intestinal. La orina es normalmente estéril en la vejiga cuando proviene de personas sanas.

1.1.4.1 Patógenos en la Orina

Algunos tipos de bacteria pueden causar infecciones del tracto urinario. *E-coli* es la causa más común de las infecciones del tracto urinario.

Los patógenos que se conoce, tradicionalmente, que son excretados en la orina son *Leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* y *Schistosoma haematobium* (Feachem *et al.*, 1983). Existe una variedad de otros patógenos que se han detectado en la orina pero su presencia no puede ser considerada significativa para el riesgo de transmisión ambiental de enfermedades (ver Tabla 2).

La *Leptospirosis* es una infección bacteriana que causa síntomas similares a los de la influenza con un porcentaje de mortalidad del 5-10%. Es generalmente transmitida por la orina de animales infectados (Feachem *et al.*, 1983; CDC, 2003a) y es considerada un riesgo laboral para los trabajadores de las aguas residuales y los trabajadores de las granjas en países en desarrollo (tropicales).

Salmonella typhi y *Salmonella paratyphi* son excretadas en la orina únicamente durante la fase de la fiebre tifoidea y fiebre paratifoidea. A pesar de que la infección es endémica en algunos países en vías de desarrollo, la transmisión orina-oral es

probablemente poco común en comparación con la transición fecal-oral (Feachem *et al.*, 1983; CDC, 2003b).

Schistosomiasis, o *bilharziasis*, es una de las principales infecciones parasitarias humanas presente especialmente en África. Uno de los tipos de *Schistosoma* es principalmente excretado con la orina mientras que otros tipos son excretados con las heces. Cuando los individuos están infectados con el *Schistosomiasis* urinario, causado por *Schistosoma haematobium*, los huevos son excretados en la orina, a veces durante toda la vida del huésped. Los huevos eclosionan en el medio acuático y las larvas infectan ciertas especies de caracoles acuáticos, que habitan en el agua dulce. Si los huevos no alcanzan el cuerpo del caracol dentro de unos días, el ciclo de infección se rompe. Después de una serie de etapas de desarrollo, la larva acuática emerge del caracol, lista para infectar a los humanos penetrando su piel. Si la orina es almacenada por varios días y es usada en tierra cultivable, el uso disminuye el riesgo de transmisión de la *schistosomiasis*. No se debe usar orina fresca cerca de las fuentes de agua superficial en áreas endémicas. *S. haematobium* se encuentra en 53 países en el Medio Oriente y África, incluyendo las islas de Madagascar y Mauricio y también en India (Schönning y Stenström, 2009)

a) Principales riesgos del uso de la excreta

Los riesgos principales del uso de la excreta están relacionados con la fracción fecal y no con la fracción de orina. Por ello, es muy importante evitar o minimizar la contaminación fecal cruzada a la fracción de orina.

b) Riesgo de transmisión de enfermedades a través de la orina

Los riesgos principales de transmisión de enfermedades por el manejo y uso de la orina humana están relacionados con la contaminación fecal cruzada de la orina y no con la orina misma.

Tabla . Patógenos que podrían ser excretados en la orina y la importancia de la orina como ruta de transmisión

Patógenos	Orina como ruta de transmisión	Importancia
<i>Leptospira interrogans</i>	Usualmente a través de la orina animal	Probablemente bajo
<i>Salmonella typhi</i> y <i>Salmonella paratyphi</i>	Probablemente inusual, excretada en orina en infecciones sistémicas	Bajo comparado con otras rutas de transmisión
<i>Schistosoma haematobium</i> huevos excretados	No directo pero indirecto, la larva infecta a los humanos a través del agua dulce	Necesita ser considerado en áreas endémicas donde agua dulce es disponible
Mycobacteria	Inusual, usualmente transportado por el aire	Bajo
Virus: CMV, JCV, BKV, adeno, hepatitis y otros	Normalmente no reconocido, con excepción de casos aislados de hepatitis A y sugerido para la hepatitis B. Se requiere más información	Probablemente bajo
Microsporidia	Sugerido, pero no reconocido	Bajo
Causantes de las enfermedades venéreas	No, no sobreviven durante periodos significativos fuera del cuerpo	-
Infecciones del tracto urinario	No, no hay una transmisión ambiental directa	Bajo

Fuente: Elaborado a partir de Schönning y Stenström (2009)

1.1.4.2 Patógenos en las heces

Las infecciones entéricas pueden ser transmitidas por especies patógenas de bacteria, virus, protozoarios y helmintos. Desde una perspectiva del riesgo, la exposición a heces no tratadas es siempre considerada insegura, debido a la potencial presencia de patógenos. Existen muchos tipos de organismos que causan infecciones entéricas, parasitarias u otro tipo de infecciones que se podrían dar y su prevalencia en determinada sociedad es a menudo desconocida.

En los sistemas de vigilancia, las bacterias han sido tradicionalmente consideradas el grupo principal de organismos causantes de enfermedades gastrointestinales principalmente en los países en desarrollo, donde enfermedades como el cólera, la tifoidea parecen ser más frecuentes en zonas urbanas y periurbanas. Otro contaminante también de importancia presente en las heces son los huevos de los helmintos. Los virus entéricos son también de importancia general.

1.2. Reciclaje

El saneamiento ecológico considera que la excreta humana es un recurso a ser reciclado en vez de un desperdicio para desecharse. El uso de excreta humana como fertilizante para cultivos es usual en muchas regiones del planeta. Los chinos, por ejemplo, realizan composta de excreta animal y humana desde hace ya miles de años

y en Japón se introdujeron esta práctica de reciclado de excreta y orina humanas desde el siglo XII.

En Suecia, donde la desviación de orina ya se practica, los agricultores recolectan la orina almacenada en tanques subterráneos, y la aplican a sus cultivos con maquinaria (Esrey et al, 1999). En proyectos de investigación y desarrollo que se llevan a cabo en Suecia, la orina humana se almacena en tanques locales. Después, los agricultores la recolectan periódicamente y se aplica en la tierra de cultivo con equipo mecanizado (Esrey y Gough, 1999.)

La idea concreta de que la excreta sea un desperdicio sin utilidad alguna es un malentendido de nuestra época; esta idea es la base conceptual de los problemas de contaminación que resultan de los enfoques convencionales de saneamiento, especialmente el de flujo y descarga. En la naturaleza no debería de existir el desperdicio: todos los residuos de los seres vivos son materia prima para otros. El reciclado de la excreta humana y la orina (al regresarlos al suelo) sirve para conservar un ciclo natural de materiales generadores de vida que ha sido alterado por nuestras prácticas sanitarias actuales.

Hay muchas razones para reciclar los nutrientes de la excreta. El reciclaje previene la contaminación directa que causa la descarga de aguas negras en las fuentes acuíferas y el ecosistema. Un beneficio secundario es que se regresan los nutrientes al suelo y las plantas, reduciéndose con ello la necesidad de fertilizantes industriales. Además, en cualquier área donde la gente habite, habrá materia nutritiva disponible.

Los nutrientes recuperados de la excreta humana (y habiéndose verificado que no contengan patógenos) pueden usarse para mejorar la producción en horticultura y agricultura en jardines caseros y granjas, en áreas urbanas y rurales. En las zonas urbanas hay bastante población que depende de los alimentos que ella misma cosecha, e incluso, cuando no sea el caso (y donde no resulte práctico transportar la excreta recuperada a los campos agrícolas), puede usarse para restaurar ecológicamente las tierras no cultivables, para crear parques y espacios verdes.

1.3. Saneamiento

El saneamiento ambiental básico es el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y excretas.

1.3.1 Objetivos del saneamiento

- ✓ Garantizar el abastecimiento de agua potable.
- ✓ Mantener la salud.
- ✓ Proteger de la contaminación al medio ambiente.

1.3.2 Limitaciones para el Saneamiento Convencional

- ✓ La escasez de agua potable no permite el transporte de las heces y excretas.
- ✓ Un alto porcentaje del agua potable se utiliza para arrastrar excretas¹.
- ✓ Las aguas residuales no tratadas contaminan las fuentes de agua y el suelo con patógenos y nutrientes.

1.3.3 Enfermedades relacionadas con el Saneamiento

La excreta humana contiene gérmenes, huevos de helmintos y otros seres vivientes (organismos). Algunos de ellos causan enfermedad y por ello se les llama patógenos. Los organismos viven a costa del hombre y se les llama parásitos. La gran mayoría de ellos se encuentran en las heces. Además es preciso mencionar que a pesar de que la orina es comúnmente estéril, en ciertos casos contiene patógenos (cuando las personas se encuentran con alguna infección urinaria). Estos pueden causar tifoidea, paratifoidea y esquistosomiasis; sin embargo, es en las heces donde se encuentra la mayor fuente de patógenos que causan estas enfermedades, aunque pueden encontrarse en la orina.

Los patógenos y los parásitos hallados en la excreta humana pueden causar todo un abanico de enfermedades. Cuando estas enfermedades se prolongan, pueden

¹ Por ejemplo en Lima para transportar aproximadamente 180 g de heces se utilizan 6 litros de agua que en la mayoría de los casos es potable. No obstante existen viviendas que tienen inodoros de 15 litros.

ocasionar un crecimiento deficiente, carencia de hierro, de vitamina A y otros micronutrientes, estas consecuencias pueden durar toda la vida. No todos los contagios de patógenos y parásitos causan la muerte, pero un debilitamiento constante causado por estas enfermedades predispone a la gente a una enfermedad permanente que puede llevar hasta la muerte.

En las heces frescas existen cuatro grupos principales de organismos que afectan a los humanos: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Estos organismos, una vez excretados: Pueden ser inmediatamente infecciosos, pueden necesitar de un período determinado fuera del cuerpo para ser infecciosos, pueden requerir de un huésped intermedio antes de ser infecciosos.

Las bacterias y los virus son infecciosos inmediatamente después de ser excretados. Los protozoarios son excretados primero como quistes y pueden ser inmediatamente infecciosos o requerir de un período fuera del cuerpo. Los huevos de los parásitos (lombrices intestinales), pueden estar presentes en las heces y resisten severas condiciones ambientales lo que los hace muy peligrosos.

Cuando una persona excreta un patógeno no almacenado o sin destruir, contamina el medio ambiente. Una vez que la excreta tiene acceso a un ambiente abierto, a gran escala, puede contaminar los dedos (manos, ropa y utensilios), líquidos (agua potable, para cocinar, bebidas y otras aguas), terreno (verduras y hortalizas caseras), moscas (caseras y de campo), animales domésticos y caracoles.

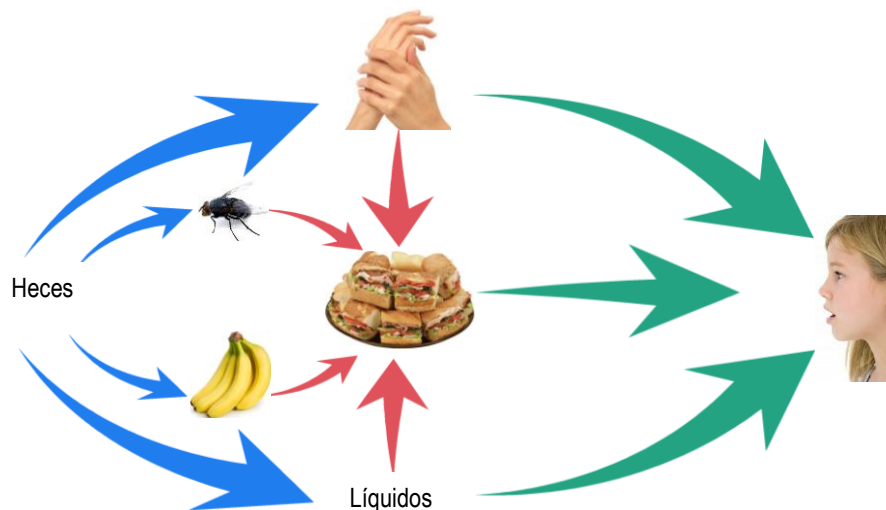


Figura El diagrama .ANO-MANO-BOCA.
Fuente: Fuente elaborada a partir de Esrey y GOUGH (1999)

La Figura resume las vías principales de diseminación de la diarrea: patógenos provenientes del tracto intestinal que contaminan manos, moscas, campos, comida y líquidos, que finalmente llegan a la boca.

La gente puede estar expuesta a patógenos y parásitos a través de estas rutas o por medio de la comida.

Un medio ambiente contaminado expone a la gente al contagio de patógenos y, por ende, se crea un ciclo de infección, contaminación y enfermedad.

La diseminación de patógenos puede reducirse o evitarse usando barreras para impedir que se mueva de un lugar (el suelo) a otro (manos, comida/agua), (ver figura 3). Una barrera inicial evitaría que las heces contaminaran los dedos, los líquidos, los campos, la comida y las moscas, es decir, evitaría la diseminación de patógenos. Sin embargo, si éstos alcanzan las manos, la comida, etc., se requeriría de una barrera secundaria (lavado de manos, cocción de alimentos) para prevenir el contagio.

Una vez que la excreta abandona el cuerpo y antes de que los patógenos tengan acceso a un medio ambiente de gran escala hay varias opciones para prevenir su diseminación.

El enfoque tradicional es “jalarle la palanca al inodoro” y apartar la excreta (flujo y descarga) o bien depositarla en una cámara profunda (caída y depósito).

Estos métodos para disponer de la materia fecal hacen creer que se ha evitado la contaminación del ambiente, pero es una creencia falsa pues el contenido de una cámara profunda puede filtrarse a los mantos freáticos, o inundarse en temporales severos de lluvia. Se requiere de un conjunto de barreras para prevenir la diseminación de patógenos.

En el sistema de flujo y descarga, las aguas negras pueden ser tratadas adecuadamente, lo que garantiza que son seguras antes de devolverlas al medio ambiente, sin embargo, en la gran mayoría de los casos, se descarga sin tratamiento a cuerpos receptores alguno o bien se trata sólo cierto volumen. En cualquiera de los métodos, el problema de contaminación solamente se disemina.

Otra manera de romper este ciclo es tratar a la gente enferma. La persona portadora de una infección defecará patógenos en el medio ambiente hasta que el tratamiento surta efecto, y en el caso de algunas enfermedades la persona los seguirá defecando incluso cuando hayan desaparecido (si desaparecen) los síntomas del padecimiento. La creciente resistencia a los fármacos que desarrollan algunas enfermedades infecciosas hace pensar, con mayor razón, en la necesidad de prevenir más que tratar. Romper el círculo vicioso de infección y reinfección exige tomar medidas preventivas justo donde inicia el problema. En primer lugar, tenemos que conservar a los patógenos fuera del medio ambiente. La gente excreta patógena por períodos que van, de días o semanas hasta meses. En algunas comunidades una buena parte de la población excreta patógenos distintos en un mismo período. Tenemos que desarrollar una manera de eliminar los patógenos excretados o prevenir su acceso al medio ambiente. La respuesta puede ser mantener a los patógenos aislados, con seguridad, o eliminarlos rápidamente.

Aunque en realidad necesitamos de la combinación de ambas: aislamiento y destrucción.

1.3.4 Eliminación de agentes patógenos.

Un buen número de patógenos y parásitos son excretados en las heces (algunos miles e incluso millones cada vez). Sin embargo, después de que son excretados al ambiente, algunos mueren o se hacen inofensivos, pero otros se conservan vivos por más tiempo y son capaces de causar una enfermedad.

El tiempo que toma morir a los organismos del mismo tipo, se conoce como tasa de mortalidad. Esta tasa es distinta para cada tipo de organismo.

Ciertas características ambientales (ver Tabla 3) pueden acelerar o retrasar el proceso de muerte de los patógenos, dependiendo del nivel o grado de la condición. Las condiciones consideradas como determinantes en la tasa de mortalidad son: temperatura, humedad, nutrientes, otros organismos, luz solar y pH. Cada condición varía de modo natural (por ejemplo, tiempo de secas y lluvias) o de modo artificial (por

ejemplo, la adición de limo). Esto significa que se puede incrementar o reducir el tiempo que le toma a un patógeno morir, a partir de su tasa promedio de mortalidad. En general, en condiciones naturales, a mayor número de patógenos, la tasa de mortalidad se incrementa.

Tabla . Condiciones ambientales que estimulan la muerte de patógenos

Factores Ambientales	Método
Temperatura	Incremento de temperatura
Humedad	Decremento de humedad
Nutrientes	Decremento de nutrientes
Luz solar	Incremento de luz solar
pH	Incremento en pH

Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (1999)

Cada una de las condiciones ambientales mencionadas en la tabla 3 tiene promedios que favorecen la sobrevivencia de los patógenos. En la medida que los humanos cambiamos estas condiciones (o la naturaleza), las tasas de mortalidad se ven alteradas de modo correspondiente. Por ejemplo, si la temperatura se incrementa, los patógenos morirán más rápido. Una temperatura cercana a los 60°C tendrá como consecuencia la muerte casi instantánea de todos los patógenos excretados con las heces. Una temperatura que se mantenga en un rango de 50-60°C, tendrá como consecuencia el no crecimiento de las bacterias y la muerte, en más de 30 minutos de casi todos los patógenos. Estas temperaturas pueden alcanzarse usando métodos diversos, como el compostaje de alta temperatura. Al cambiar más de un factor a la vez, la tasa de mortalidad se incrementa. Por ejemplo, el decremento de la humedad y el incremento de la temperatura pueden trabajar juntos para producir una muerte más rápida de patógenos, que si sólo se altera uno de estos factores.

A condiciones ambientales las bacterias, los virus y los protozoarios tardan en morir varios meses, a veces menos (ver tabla 4). Los huevos de los helmintos sobreviven varios meses y los de la especie *Ascaris* pueden permanecer vivos por años. De todos los métodos usados para la destrucción de patógenos, el compostaje de alta temperatura es el mejor modo de destruir rápidamente la mayor parte de patógenos.

En realidad es muy difícil alcanzar las condiciones óptimas en tanto que ciertos sectores del cerro de composta no alcanzan la temperatura adecuada. Esto quiere decir que algunos patógenos pueden sobrevivir.

Tabla .Periodos de sobrevivencia, en días, en condiciones distintas de aislamiento/tratamiento

Medio	Bacteria	Virus	Protozoarios	Helmintos
Tierra	400	175	10	varios meses
Cultivos	50	60	no se sabe	no se sabe

Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (1999)

Generalmente se asume que, si se elimina a los patógenos más resistentes a la destrucción, entonces también se destruye a todos los demás. Dos patógenos (muy diseminados y resistentes a la destrucción) son: *Ascaris lumbricoides* – la típica lombriz redonda y el *Cryptosporidium parvum* un tipo de parásito protozoario, que causa la diarrea. Los *Ascaris lumbricoides* se encuentran en todo el mundo. Se calcula que cerca de 20% de la población mundial puede estar infectada.

Los quistes de *Cryptosporidium parvum* (forma en que se excreta a estos protozoarios) son muy resistentes a la destrucción; pueden sobrevivir incluso a ciertas condiciones ambientales extremas (más que los *Ascaris*), como el congelamiento, altas temperaturas y el tratamiento con cloro y ozono en el agua. Los dos tipos de patógenos infectan a los niños, más que a los adultos; ambas infecciones pueden causar desnutrición y si la infección es muy severa, la muerte.

El periodo de vida de un huevo de *Ascaris* puede durar incluso varios años. El 95% de los huevos de *Áscaris* mantienen su potencial infeccioso aún después de varias semanas. Estos pueden sobrevivir más tiempo si permanecen bajo una capa delgada de tierra que si se encuentran en la superficie.

1.3.5 Destrucción de agentes patógenos por etapas

Los métodos secos para procesar heces y destruir patógenos son más efectivos que los métodos húmedos (flujo y descarga). La combinación de baja humedad, bajo nivel de nutrientes/materia orgánica y un pH elevado es propicia para una destrucción rápida.

Uno de los métodos más efectivos para la destrucción de patógenos es la deshidratación. Los métodos húmedos como el de flujo y descarga son particularmente inadecuados para destruir patógenos. El agua residual es un ambiente ideal para la sobrevivencia de patógenos ya que es equivalente, en muchos aspectos,

a los intestinos. En primer lugar, es rica en materia orgánica y nutriente; también es húmeda y anaerobia. La diferencia aquí es la temperatura. Las plantas de tratamiento, incluidas las de aguas residuales, operan por lo general muy por abajo de los 37°C. El uso de esta agua no sólo incrementa el período de vida de los patógenos, sino los promedios de enfermedades en la población cuando se utiliza en cosechas o se descarga en vertientes naturales antes de un tratamiento efectivo. Entonces es posible la destrucción de patógenos, pero en realidad requiere de una atención esmerada a lo largo de etapas diversas.

El concepto de saneamiento ecológico recomienda un proceso de cuatro etapas para convertir la excreta en un material seguro, tanto para su manejo como su reciclaje:

- ✓ **Mantener bajo el volumen de material peligroso**, al desviar la orina, sin agregar agua.
- ✓ **Prever la dispersión de material que contenga patógenos**, al almacenarlo adecuadamente, hasta que su manejo sea seguro.
- ✓ **Reducir el volumen y el peso del material infeccioso**, usando sistemas de deshidratación y/o descomposición para facilitar el almacenaje, el transporte y el tratamiento subsecuente.
- ✓ **Sanear y eliminar las posibilidades infecciosas de los patógenos**, esta etapa requiere de tres tratamientos: primero en el lugar donde se originan (deshidratación/descomposición, almacenaje); segundo, fuera del lugar donde se generan (posterior deshidratación, composta de alta temperatura, cambio del pH agregando limo) y, de ser necesario, un tercer tratamiento a través de la incineración.

1.3.6 Tratamiento de aguas residuales

Consiste en devolver al ambiente el agua que tomamos de él de tal manera que puedan ser reutilizadas o descargadas en un cuerpo de agua.

Los tratamientos de las aguas residuales domésticas que se les da en el sitio se efectúan mediante letrinas y tanques sépticos en zonas rurales o poblaciones inferiores a 100 personas; mientras que para las aguas residuales industriales se efectúan varios procesos para el reciclaje de agua en una fábrica.

Los tratamientos de las aguas residuales domésticas ubicados fuera de la comunidad son:

- ✓ Sedimentación con tratamiento aerobio
- ✓ Tratamiento anaerobio con tratamiento aerobio
- ✓ Remoción de Nitrógeno y Fósforo
- ✓ Lagunas de estabilización
- ✓ Tratamiento de lodos

En cada caso existen tecnologías que deben de adicionarse para asegurar la eliminación completa de huevos de helmintos. La selección de la tecnología más apropiada dependerá de características socioeconómicas de cada localidad.

2 SISTEMAS DE SANEAMIENTO

2.1. Sistemas centralizados

2.1.1 Sistema Convencional de Saneamiento

Las formas convencionales de gestión central de aguas residuales, es decir, un sistema combinado con etapas múltiples de instalaciones post conectado de tratamiento de aguas residuales, siguen siendo norma en los países industrializados desarrollados de las naciones de hoy. El aumento de las críticas de este sistema, sin embargo ha sido nivelado por métodos con razones ecológicas y económicas. El aumento de los costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, y el alto consumo de agua como resultado de mal uso de agua potable sólo para su transporte, dan motivos para cuestionar estos tipos de métodos en los países ricos, y mucho más su aplicación generalizada en países en desarrollo.

En particular, para las zonas áridas y semiáridas, la búsqueda de soluciones adecuadas se ha convertido en un forzado problema. Con la densidad de población en aumento y la contaminación resultante de las aguas subterráneas, los sistemas convencionales de eliminación descentralizada tales como letrinas y pozos de infiltración no son una opción viable ni tampoco una alternativa.

Además de esto, los sistemas convencionales de eliminación de aguas residuales directamente perjudican la fertilidad del suelo, como los nutrientes y oligoelementos contenidos en los excrementos humanos no son por lo general utilizados en la agricultura. Incluso cuando los lodos de aguas residuales que se usa para la agricultura, sólo una pequeña fracción de nutrientes se reintroducen en la capa de suelo vivo. La mayoría son destruidos (por ejemplo, la eliminación del nitrógeno) al entrar en una fuente de agua, donde contaminan el medio ambiente. Con frecuencia, se produce una mezcla de aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales y con el agua de lluvia de las calles contaminadas.

De hecho, los sistemas de aguas residuales convencionales son en gran parte sistemas lineales hasta el final de la tubería (ecosistema donde algunos seres toman el agua), siendo mal utilizada para el transporte de los residuos en el ciclo del agua, causando daños al medio ambiente y los riesgos contra la higiene. (Schlick y Werner, 1999).

Las soluciones “lineales” basadas en los conceptos convencionales de saneamiento han solucionado algunos problemas pero han causado otros tales como:

- ✓ Baja cobertura del tratamiento de las aguas residuales en todo el mundo.
- ✓ El alto consumo de agua (que muchas veces es escasa) para el transporte.
- ✓ Altos costos de inversión, energía, operación y mantenimiento
- ✓ Subvenciones frecuentes de las áreas ya establecidas en comparación con los asentamientos humanos pobres.
- ✓ Contaminación de las aguas residuales por sustancias peligrosas, agentes patógenos, residuos farmacéuticos, hormonas, entre otros.
- ✓ No aprovechamiento de nutrientes y oligoelementos contenidos en los excrementos a través de descarga en las aguas. Esto podría causar (dependiendo del lugar) el empobrecimiento de los suelos agrícolas, y la dependencia de los fertilizantes.
- ✓ Es una tecnología que se aplica necesariamente cuando existe una red de alcantarillado.



Figura Esquema de los inconvenientes de los sistemas convencionales para el manejo de aguas residuales. Fuente: Peralta (2007)

2.1.2 Sistema Condominial de Saneamiento

El sistema condominial surgió en Brasil en la década de los años ochenta, como una alternativa de menor costo a los sistemas convencionales y por ende con posibilidades de atender a un mayor número de familias para proporcionar servicios de alcantarillado sanitario.

El ingeniero José Carlos Melo de Brasil fue el principal impulsor de esta solución de saneamiento, a partir de la cual profesionales brasileños implantaron el sistema en otras regiones, adecuando la metodología condominial a sus realidades.

Las primeras aplicaciones se realizaron en el departamento de Río Grande del Norte, a través de la Compañía de Agua y Alcantarillado de Río Grande del Norte (CAERN), y el sistema se fue difundiendo a mayor escala en los departamentos de Río de Janeiro, Mato Grosso, Distrito Federal, Bahía y Pará, principalmente.

Hoy en el Distrito Federal son atendidos, por medio de este sistema, más de 700.000 habitantes. Asimismo, varias compañías prestadoras de servicios, en diferentes ciudades brasileñas, han adoptado el uso del sistema condominial para atender a las poblaciones que no cuentan con estos servicios. (Arevalo Correa, 2001).

2.1.2.1 El Modelo Condominial

El sistema condominial ofrece una solución integral al problema de saneamiento de un área determinada. El modelo condominial implica, por lo tanto, un enfoque global no sólo respecto del diseño de ingeniería y su puesta en funcionamiento, sino también desde el punto de vista de la participación comunitaria o también denominada intervención social. En todas las fases del proceso así como en la adquisición de conocimientos por los usuarios a través de la educación sanitaria y ambiental.



Figura Esquema del sistema condominial
 Fuente: Melo (2005)

2.1.2.2 Componente Social

- La intervención social, es el conjunto de actividades de sensibilización, movilización, capacitación y asesoría a la población para que participe masiva y organizadamente en la instalación de los servicios de agua potable y alcantarillado, contribuyendo al uso eficiente mediante la adquisición de la conexión domiciliaria e instalaciones sanitarias al interior de la vivienda.
- Genera cambios de comportamiento en las poblaciones beneficiarias en el ámbito familiar y comunal, refuerza la propuesta técnica y valida las estrategias de participación comunitaria.

2.1.2.3 Ventajas del Sistema Condominial

- ✓ Fomenta una concepción de saneamiento que integra la participación comunitaria con tecnologías apropiadas, para producir soluciones que combinen economía con eficiencia
- ✓ Adaptación a diferentes condiciones de terreno y condiciones sociales
- ✓ Universalidad en el acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado, ampliándose la cobertura con equidad.
- ✓ Posibilita una relación diferente de compromisos y responsabilidades para lograr el uso racional de los recursos, y el desarrollo de capacidades.
- ✓ Promueve una práctica de integración y equilibrio de los componentes técnico y social.
- ✓ Nuevos conceptos y adecuación de las normas para el diseño, ejecución y mantenimiento.
- ✓ Estrategia participativa y orientación educadora.

2.2. Sistemas descentralizados

Los sistemas descentralizados son las tecnologías de saneamiento ecológico con el objetivo principal de la reutilización y siempre se necesitan de suficiente experiencia y conocimiento, especialmente donde todavía no están estandarizados.

La separación de efluentes grises y negras en los proyectos de eco-saneamiento están orientados en la separación de las aguas residuales para garantizar un tratamiento más económico

2.3. Esquemas de sistemas de saneamiento

Sistema 1: Pozo simple

Consiste de un pozo simple para recolectar y almacenar las excretas. El sistema se puede usar con o sin agua de arrastre dependiendo del retrete de usuario, instalados en terrenos apropiados para excavar y donde se absorba el efluente del pozo. Si el terreno es apropiado, por ejemplo con buena capacidad de absorción; el pozo puede ser excavado muy profundo (por ejemplo más de 5 m) y puede ser usado por varios años (hasta 30 años) sin ser vaciado.

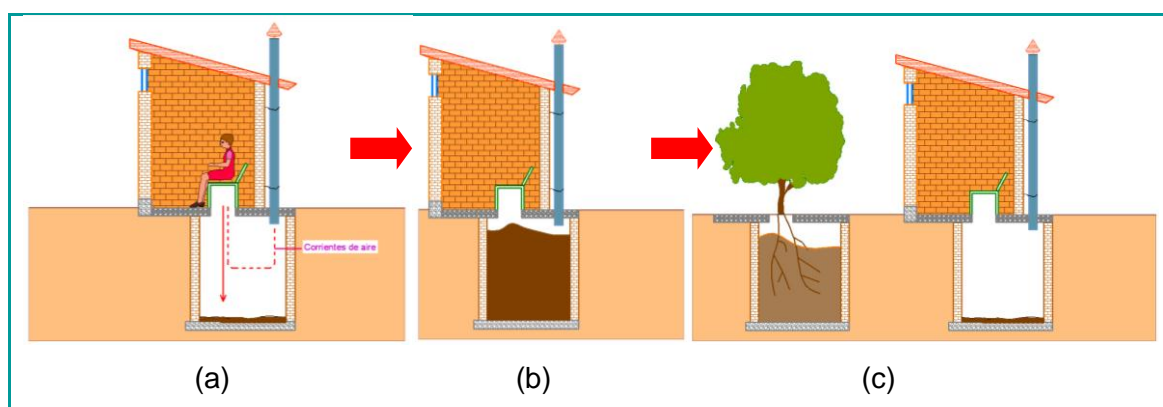


Figura . Sistema de pozo simple:(a) en funcionamiento, (b) cuando el pozo está lleno y (c) uso futuro del pozo simple y traslado de la caseta en otro punto donde se ubique otro pozo.
Fuente propia.

El uso de agua de arrastre y/o agua de limpieza anal dependerá de la disponibilidad de agua y las costumbres locales.

Hay varias opciones para cuando se llene el pozo. Si hay espacio, el pozo se puede rellenar con tierra y plantar un árbol, o como en rellenar y cubrir, y construir un nuevo pozo como se aprecia en la Figura . Otra alternativa puede ser retirar y transportar el lodo fecal generado para un tratamiento adicional.

Cuando el lodo fecal es más ligero, debe ser vaciado con un camión con sistema de recojo al vacío. Los lodos fecales que son removidos pueden ser transportados a unas instalaciones de tratamiento de lodos fecales. En el caso de que las instalaciones de tratamiento no sean fácilmente accesibles, los lodos fecales pueden ser descargados ya sea en una estación de descarga de alcantarillado (incluyendo el flujo de las aguas

negras) o una estación de transferencia. Si los lodos se vacían directamente en el alcantarillado, debe haber suficiente agua para diluir y transportar adecuadamente los lodos a las instalaciones de trata miento. Este sistema también es aconsejable para las áreas que no están propensas a fuertes lluvias o inundaciones, lo que podría provocar que se desborden los pozos. Algo de aguas grises en el pozo pueden ayudar a la degradación, pero adición excesiva de aguas grises pueden acortar la vida del pozo.

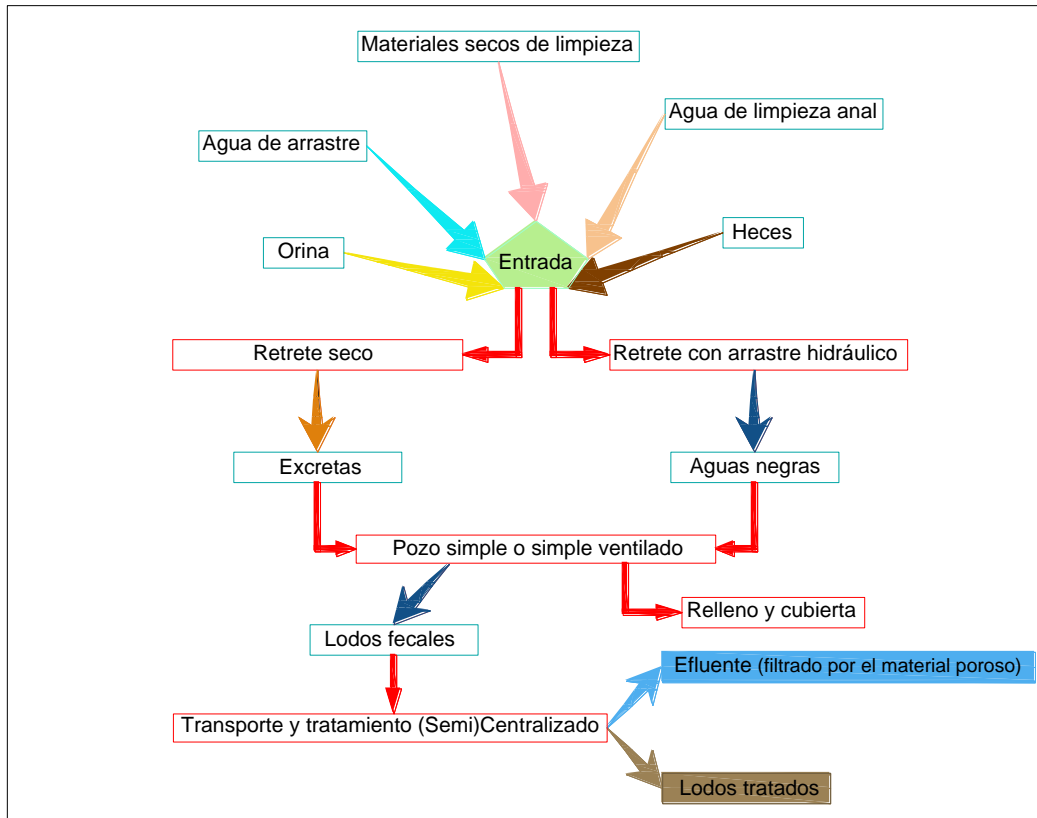


Figura Esquema del Sistema de pozo simple.
Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

Aunque son comunes diferentes tipos de pozos en la mayor parte del mundo, aún es no es muy común encontrar un sistema de pozos diseñados, con transporte, tratamiento y uso o disposición final adecuados.

Tabla . Tecnologías del Sistema de pozo simple

Interfases de usuario	Tecnología de recolección y almacenamiento/ tratamiento	Tecnologías de transporte	Tecnologías para el uso y/o disposición final del efluente tratado		
Retrete Seco	Pozo Simple	Vaciado y Transporte por Medios Humanos para lodos sólidos.	Irrigación	Estanque de Macrófitas	Recarga de Acuíferos
Retrete con arrastre hidráulico	Pozo Mejorado Ventilado Simple	Motorizado para lodos líquidos.	Acuicultura	Descarga a un cuerpo de agua	

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Sistema 2: Pozos alternos sin agua

Sistema mediante el uso de pozos alternos sin la adición de agua de arrastre, este sistema está diseñado para producir un material denso, semejante a la composta.

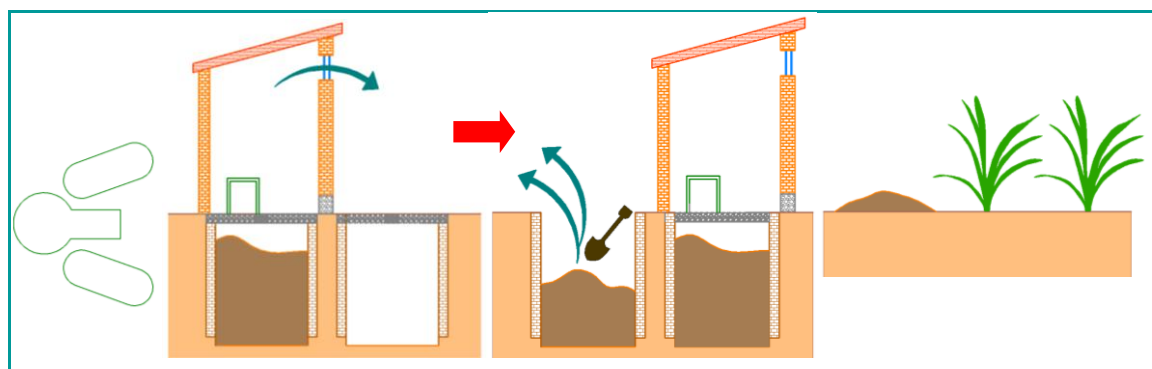


Figura Sistema sin agua con pozos alternos. Fuente propia.

El retrete seco que se utiliza no requiere agua para funcionar y de hecho, no debe agregarse agua al sistema; el agua de limpieza anal se debe mantener al mínimo o incluso debe ser excluida de este sistema si es posible.

Una vez que se llena el pozo es cubierto y puesto fuera de servicio temporalmente, además el material puede drenarse, degradarse y transformarse en un material húmico rico en nutrientes y mejorado higiénicamente que puede ser usado o desechado con seguridad. Cuando las excretas del primer pozo son drenadas y degradadas, se vacía el pozo y se vuelve a poner en servicio.

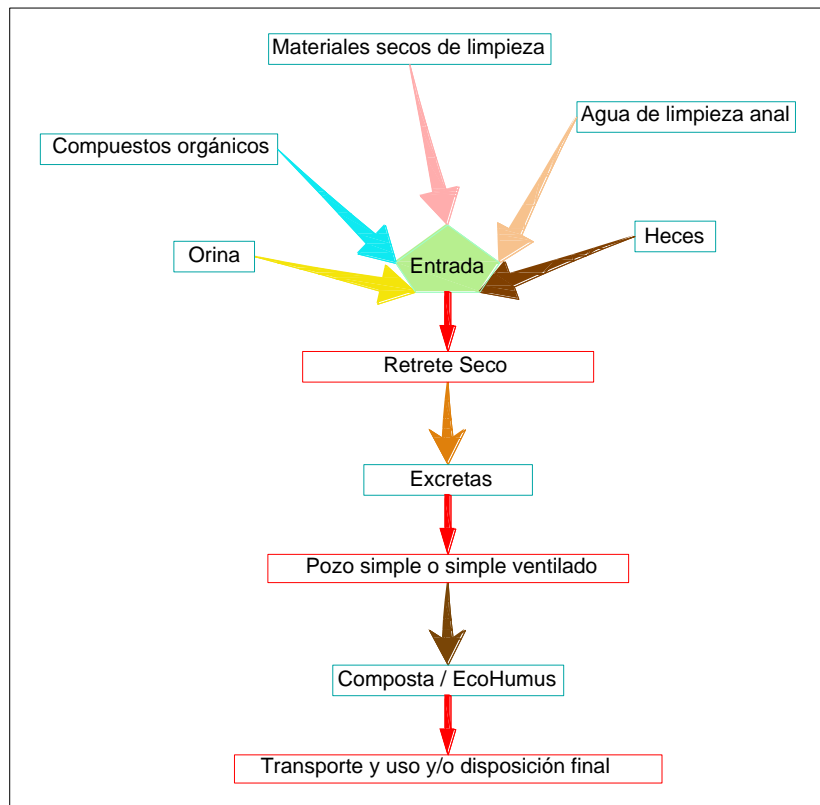


Figura Esquema del Sistema 2.

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

La Composta o Ecohumus que se genera de la descomposición de las excretas se realiza in situ. A diferencia del primer sistema, la composta o Ecohumus producida en este sistema está lista para su uso y/o disposición final después de la recolección y almacenamiento/tratamiento.

Tabla . Tecnología de recolección, almacenamiento y tratamiento para sistema sin agua con pozos alternos

Tecnología de recolección y almacenamiento	Tecnología de tratamiento
Tanque alterno	Cámara de compostaje

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Puede ser instalado donde el espacio es limitado a diferencia del primer sistema. Adicionalmente, como el producto debe ser retirado manualmente, este sistema es apropiado en áreas densas donde no se tiene acceso a camiones de vaciado mecánico.

El buen funcionamiento del sistema depende de un prolongado período de almacenamiento. Este periodo de almacenamiento puede ser óptimo si el material del

pozo se mantiene ventilado y con poca humedad. Por lo tanto, las aguas grises se deben recolectar y tratar por separado.

Si existe demasiada humedad en el pozo, el agua condensada llenará los espacios vacíos y privará de oxígeno a los microorganismos, lo cual dañará el proceso de degradación. Los materiales secos de limpieza como por ejemplo papel higiénico, papel periódico, entre otros pueden ayudar a la degradación y el flujo de aire.

Sistema 3: Pozos dobles de arrastre hidráulico

Sistema a base de agua que utiliza un retrete de arrastre hidráulico para producir un producto parcialmente digerido semejante al humus, que puede ser usado para mejorar terrenos. Las aguas grises pueden ser incorporadas en el sistema sin requerir un tratamiento por separado.

El urinario solamente se debe usar de manera adicional y no para reemplazar al retrete con arrastre hidráulico. Los pozos están contruidos con un material poroso que permite que el efluente se infiltre al terreno mientras los sólidos se acumulan y degradan en el fondo del pozo. Mientras uno de los pozos se llena con aguas negras, el otro pozo se encontrará fuera de servicio. Se deben de construir de tal manera que se requiera de por lo menos uno o dos (2) años en llenar un pozo, para permitir la degradación del material antes de que pueda ser excavado con seguridad. Los lodos tratados que se generan se retiran y se transportan para su uso y/o disposición final usando una tecnología de transporte manual. Después del tiempo de reposo recomendado de dos (2) años, los pozos deben vaciarse manualmente usando palas de mango largo y con una adecuada protección personal.

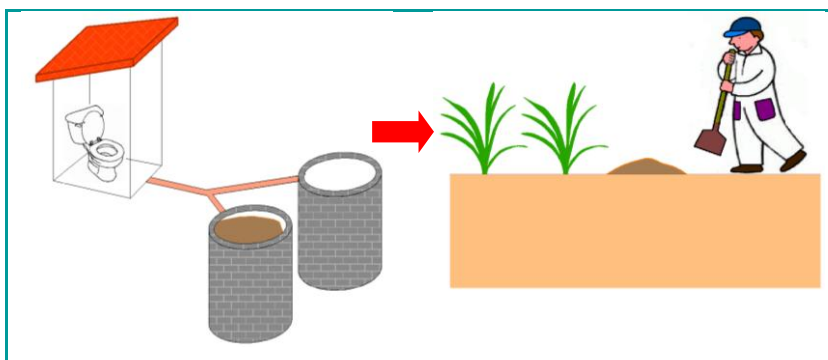


Figura Sistema de arrastre hidráulico con pozos dobles
Fuente propia.

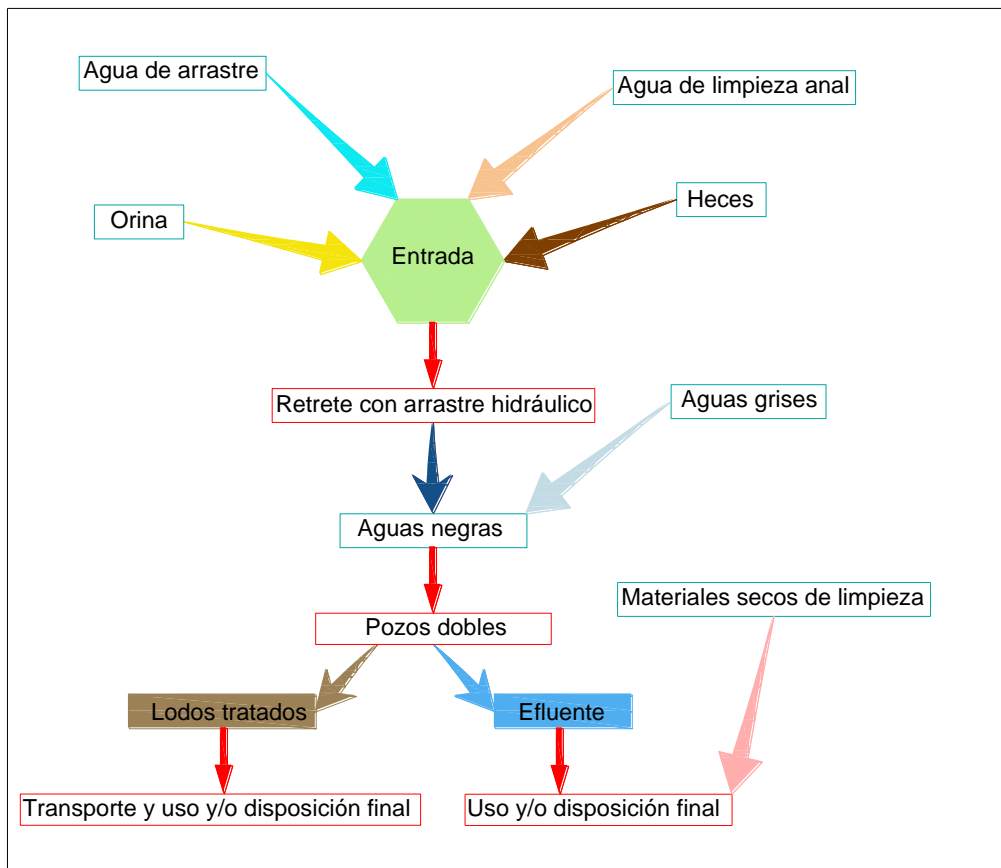


Figura Esquema del Sistema de arrastre hidráulico con pozos dobles.
Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

Los materiales secos de limpieza pueden taponar el pozo y evitar que el agua se infiltre al terreno. El efluente de los pozos dobles se infiltra directamente en el terreno in situ. Por lo tanto, este sistema sólo debe ser instalado donde el nivel freático del acuífero se encuentra por debajo de los pozos a fin de evitar los riesgos de contaminación de la napa freática. El fondo del hoyo debe quedar por lo menos a dos metros por encima del máximo nivel freático de las aguas subterráneas y deberá ser rellenado con material filtrante (OPS/CEPIS, 2005).

En el caso de pozos dobles, el sistema dependerá de un terreno que pueda absorber humedad de manera continua y adecuada. Los terrenos de arcilla o densamente compactados no son apropiados.

Sistema 4: Sistema sin agua con separador de orina

Es un sistema con el fin de separar la orina y las heces para permitir que las heces se deshidraten mientras se recupera la orina para usos en el campo. El sistema es adecuado para áreas rocosas donde la excavación es difícil, donde el nivel freático es alto, o en regiones con escasez de agua.

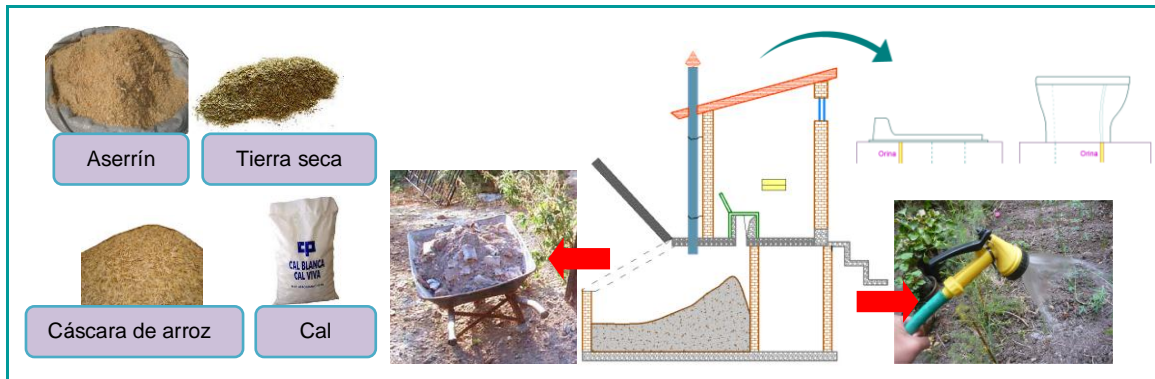


Figura Sistema sin agua con separador de orina. Fuente propia.

Los retretes con separador de orina con un tercer desvío no son muy comunes, pero se pueden fabricar localmente o ser ordenados dependiendo de las costumbres locales de aseo.



Figura Retrete seco con separador de orina (izquierda) y forma de limpieza del retrete (derecha)

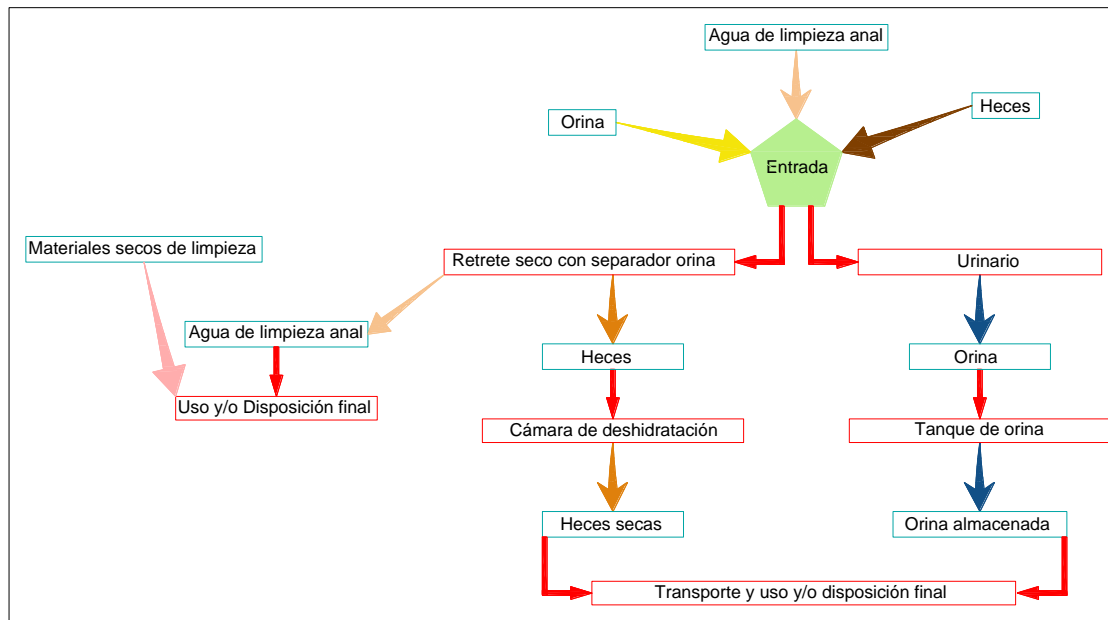


Figura Esquema del Sistema 4.

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

Las cámaras de deshidratación dobles son usadas para la recolección, almacenamiento y/o tratamiento de las heces. También es factible coleccionar las heces en recipientes intercambiables, como barriles, baldes o sacos. Se debe mantener las heces tan secas como sea posible en las cámaras impermeables para favorecer la deshidratación e higienización.

El agua de limpieza anal nunca debe ser recolectada en las cámaras de deshidratación, sin embargo se puede desviar y disponer en un pozo de absorción.

Tabla . Tecnologías para el sistema sin agua con separador de orina

Tecnologías de interfase de usuario	Uso y/o disposición final	
Retrete seco con separador de orina Urinario	Aplicación de tierra Irrigación	Infiltración del terreno por medio de un pozo de absorción

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Para cubrir las heces, minimizar los olores y establecer una barrera entre las heces y vectores potenciales (por ejemplo moscas) se utilizan de manera continua cenizas, aserrín, cáscara de arroz, cal o tierra seca (o la mezcla de éstos). El incremento del pH, al agregar cenizas o cal, también ayudará a reducir los organismos.

Para la recolección y almacenamiento de la orina se suelen usar tanques de almacenamiento. Las heces secas que se generan pueden ser retiradas y

transportadas para su uso y/o disposición final, aunque es preciso mantener las condiciones de seguridad puesto que es probable que contengan patógenos, especialmente huevos de helmintos. El agua de limpieza anal se debe separar de las heces, aunque se la puede mezclar con la orina antes de ser transferida al pozo de absorción. Si la orina es usada en la agricultura, el agua de limpieza anal se debe mantener separada y debe ser tratada junto con las aguas grises.

La eficiencia de este sistema es la separación de la orina y las heces, así como del uso de un agente conveniente de secado; un clima cálido y seco puede también contribuir considerablemente a la rápida deshidratación de las heces. Además se puede adecuar a las necesidades agrícolas y culturales de las personas.

Es primordial educar a los usuarios sobre los beneficios y adecuado manejo, y que participen en la decisión de aplicar esta opción.

Sistema 5: Sistema de Tratamiento de aguas negras con infiltración

El sistema requiere una fuente constante de agua, por ende es un sistema que almacena grandes cantidades de agua, requiere un retrete de tanque y una tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento.

Este sistema es apropiado en áreas donde se dispone de servicios accesibles de extracción y limpieza, además económicos, y de una forma adecuada de tratar los lodos. El uso del sistema puede adaptarse en los climas más fríos, incluso donde se presentan heladas.

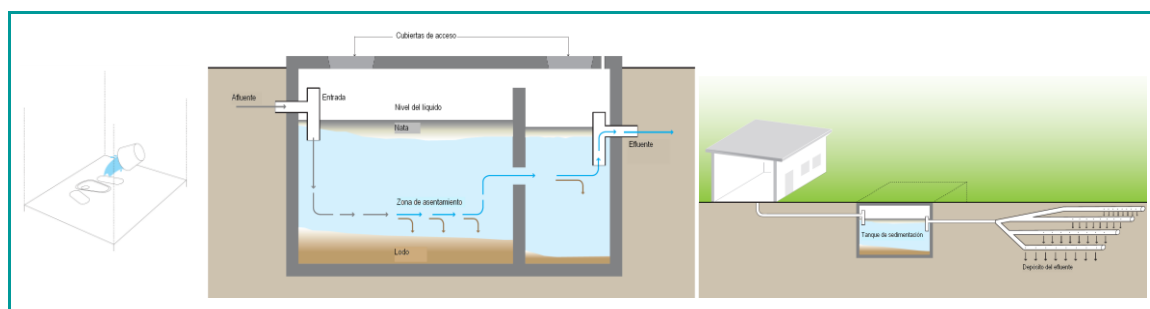


Figura Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración.

Fuente: Tilley et al (2011)

Los procesos anaerobios reducen la carga orgánica, pero el efluente aún no es adecuado para su uso directo. Las aguas grises deben ser tratadas junto con las

aguas negras en la misma tecnología de recolección y almacenamiento así como de tratamiento, pero si hay necesidad de recuperación de agua, se puede tratar por separado.

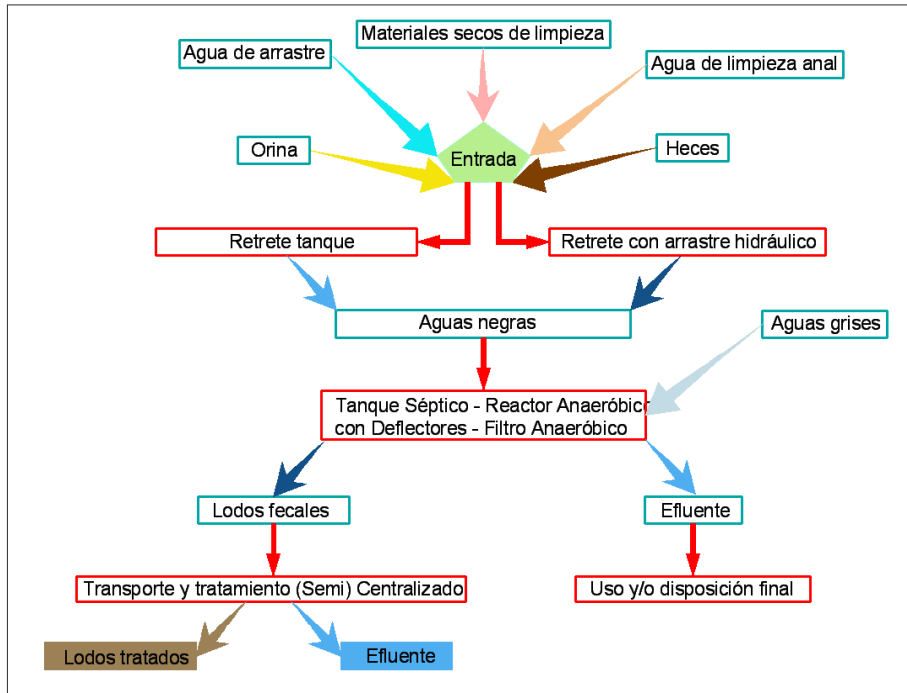


Figura Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración.
Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Para que estas tecnologías funcionen se debe tener suficiente espacio disponible y el terreno debe tener una adecuada capacidad para absorber el efluente.

Tabla . Tecnología para el sistema de tratamiento de aguas negras con infiltración

Tecnologías de interfase de usuario	Tecnología de recolección y almacenamiento/tratamiento para las aguas negras	Recolección y almacenamiento/tratamiento	Tecnologías para uso y/o disposición final del efluente
Retrete con arrastre hidráulico	Tanque séptico Filtro anaerobio.	Pozo de absorción	Irrigación Acuicultura
Retrete de tanque	Reactor anaerobio con deflectores	Campo de filtración	Estanque de macrófitas Disposición final de agua/recarga de acuíferos

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Los lodos fecales que se generan deben ser retirados y transportados para un tratamiento adicional. Se debe evitar el contacto humano con el lodo fecal por ser altamente patogénico. Todas las tecnologías de tratamiento (Semi) Centralizado generan el efluente y lodos fecales, estos últimos requieren un tratamiento adicional antes de su uso y/o disposición final.

Sistema 6: Sistema de tratamiento de aguas negras con alcantarillado

Es un sistema que se caracteriza por contar con un conjunto de redes de alcantarillado simplificado para transportar el efluente a instalaciones de tratamiento (Semi) centralizado, y con el uso de una tecnología a nivel doméstico para remover y digerir los sólidos sedimentados de las aguas negras. Un esquema de este sistema se puede apreciar en la Figura .

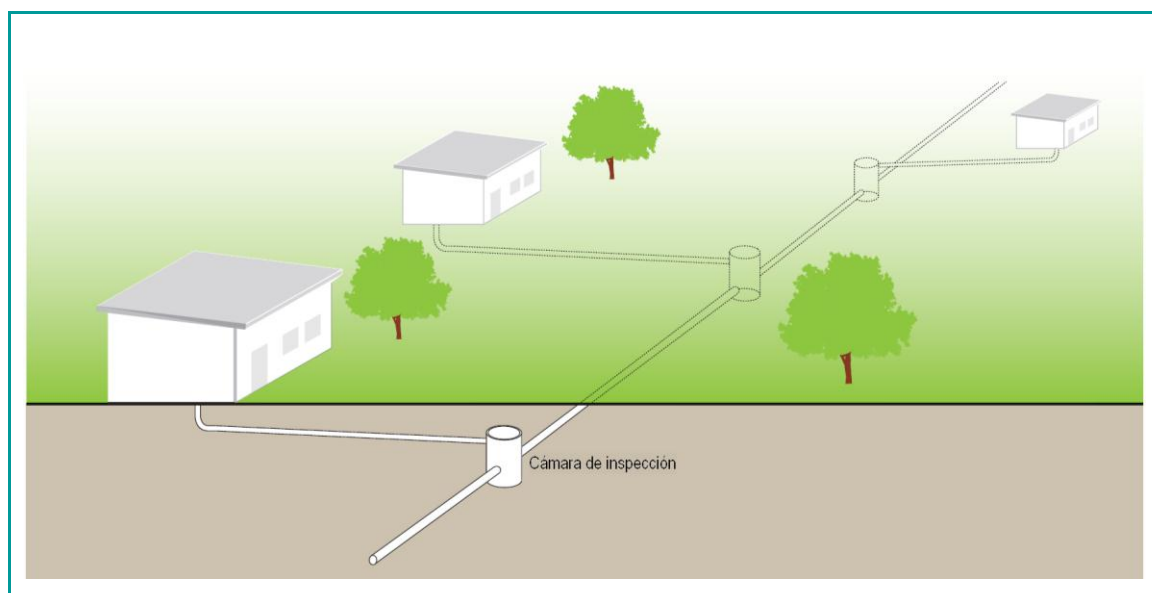


Figura . Sistema de tratamiento de aguas negras con alcantarillado.
Fuente: Tilley et al, (2011)

Se requiere de un tanque Interceptor (o caja de registro) antes de que el efluente ingrese al alcantarillado. El efluente luego de haber pasado por un tratamiento primario (por ejemplo un tanque séptico) debe ser transportado mediante de una red de alcantarillado y conectarse a un postratamiento.

La excavación y la instalación de tecnología de almacenamiento in situ, así como la infraestructura requerida para la red simplificada de alcantarillado suelen ser costosas

(aunque los costos pueden ser significativamente menores en la instalación de una red condominial de alcantarillado). Es importante el buen funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento centralizado.

Este sistema es especialmente adecuado para asentamientos urbanos densos donde el nivel freático es alto y el espacio es reducido para tecnologías de almacenamiento o vaciado.

Sistema 7: Sistema de tratamiento (Semi) centralizado

Es un sistema de alcantarillado a base de agua en el que las aguas negras son transportadas a unas instalaciones de tratamiento centralizado. Las aguas negras generadas en la interfase del usuario son conectadas directamente a unas instalaciones de tratamiento (Semi) centralizado mediante redes de alcantarillado simplificado o por gravedad. Las aguas grises son tratadas conjuntamente con las aguas negras. Las aguas pluviales recolectadas en los alcantarillados pluviales pueden entrar a la red de alcantarillado por gravedad, por lo que se deben instalar aliviaderos de aguas pluviales.

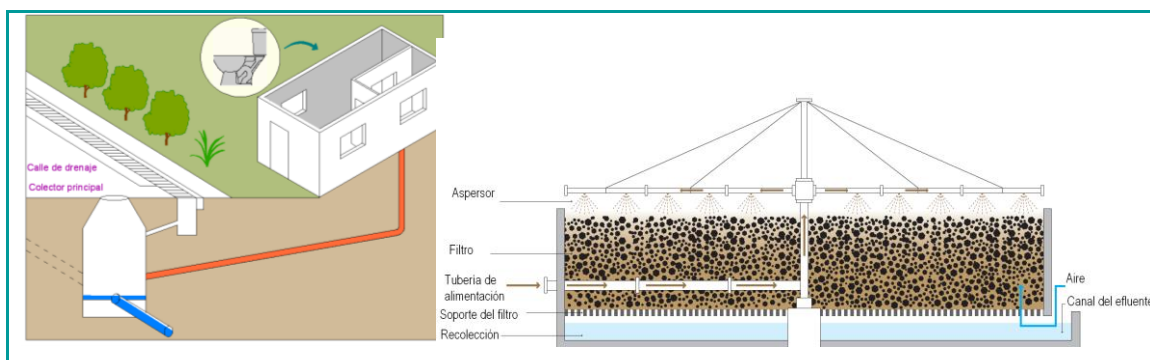


Figura Sistema de tratamiento de aguas negras con Alcantarillado.
Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Las aguas negras son transportadas a unas instalaciones de Tratamiento (Semi) Centralizado. La inclusión de aguas grises en la tecnología de transporte ayuda a prevenir que se acumulen sólidos en las redes de alcantarillado. Los lodos fecales deben ser tratados adicionalmente antes de su uso y/o disposición final.

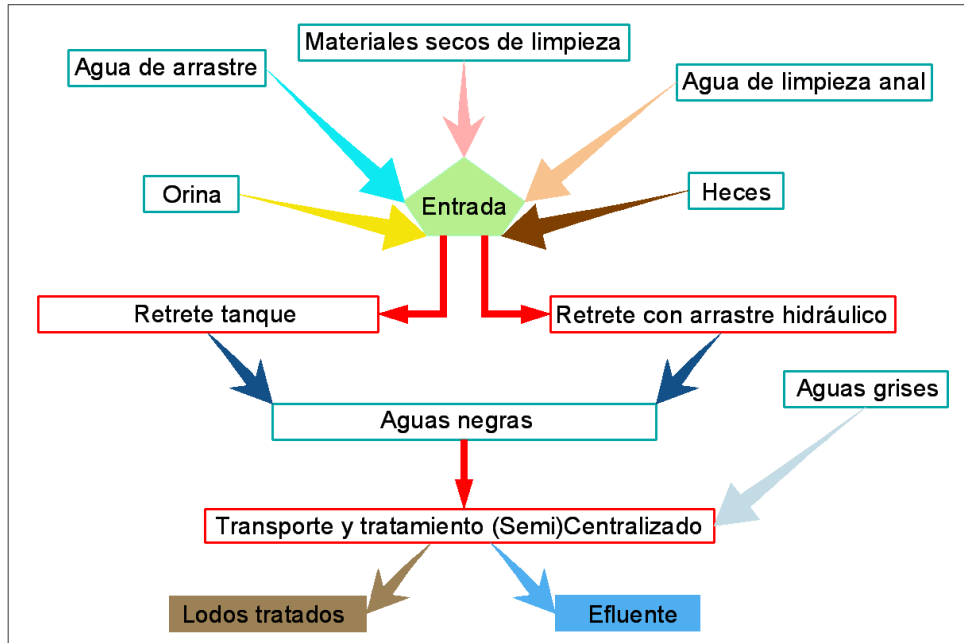


Figura Esquema del Sistema de tratamiento de aguas negras con Alcantarillado.
Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Este sistema es apropiado donde existe disposición y capacidad de pago por la inversión de capital y los costos de mantenimiento; además donde ya existan instalaciones de tratamiento que tengan la capacidad de aceptar un flujo adicional.

No es recomendable para áreas rurales con poblaciones dispersas. Es necesario contar con un suministro continuo de agua para asegurar que los alcantarillados no se obstruyan.

Sistema 8: Sistema de Alcantarillado con separador de orina

Este es un sistema de alcantarillas basado en agua que depende de un retrete con cierre hidráulico con desvío de orina. Este es una interfase especial de usuario que permite la separación y recolección de la orina sin incluir agua, sin embargo se usa agua de arrastre para las heces.

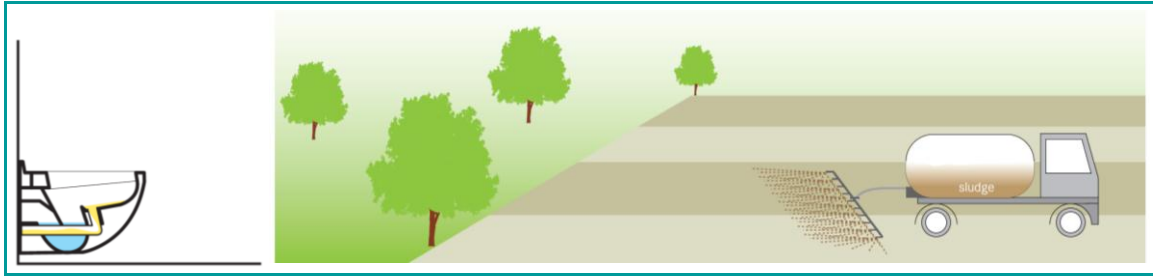


Figura Sistema de alcantarillado con separador de orina.

Fuente: Tilley et al, (2011)

Las aguas cafés y la orina son separadas en la interfase del usuario. Las aguas cafés son transportadas directamente a unas instalaciones de Tratamiento (semi) centralizado usando redes de alcantarillado simplificado o por gravedad. Las aguas grises son también transportadas en el alcantarillado y no son tratadas por separado. En algunos casos, el agua pluvial puede ser conectada a una red de alcantarillado por gravedad, por ello se requieren aliviaderos de aguas pluviales.

La orina separada en la interfase de usuario va directamente a un tanque de almacenamiento. La orina almacenada es transferida para su uso y/o disposición final usando un bidón ó motorizado para la aplicación de orina a terrenos agrícolas. Las aguas cafés son tratadas en unas instalaciones de tratamiento (semi) centralizado y los lodos fecales generados deben ser tratados.

Los alcantarillados por gravedad requieren mucha excavación y la instalación puede ser costosa.

Este sistema es apropiado sólo si hay interés en usar la orina separada como fertilizante y/o cuando hay el deseo de limitar el consumo de agua al recolectar la orina sin agua.

Debe haber una fuente continua de agua para asegurar que los alcantarillados no se obstruyan. Este sistema contribuye al funcionamiento de una planta de tratamiento, ya que la reducida carga de nutrientes (al remover la orina) puede optimizar el tratamiento. Dependiendo del tipo de alcantarillado (simplificada o por gravedad) y de la estructura administrativa (administración municipal u operación comunitaria), existen grados de responsabilidades en la operación y mantenimiento para el propietario de la casa.

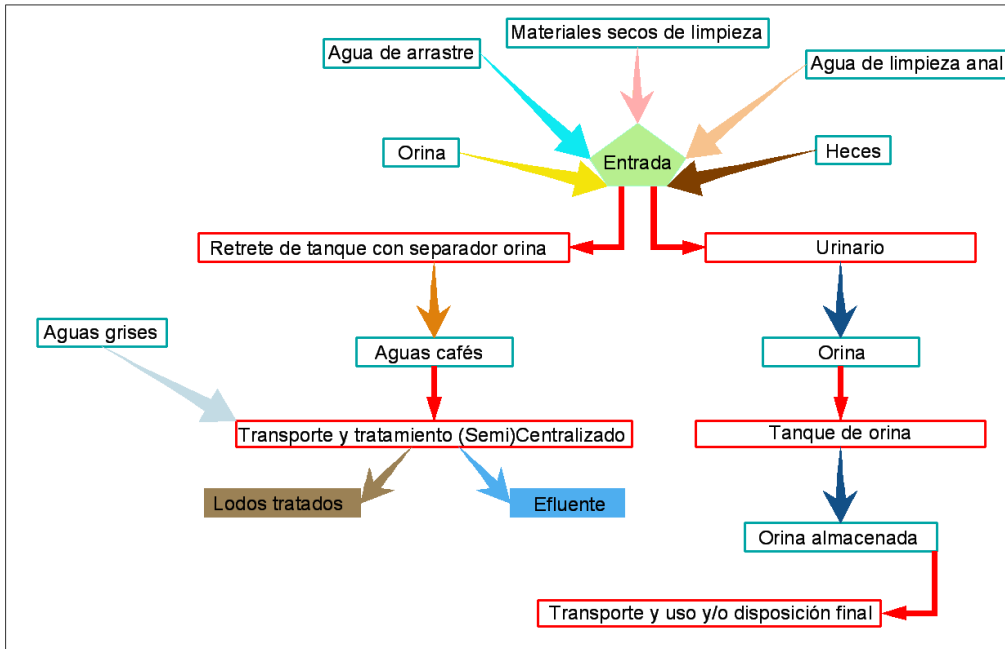


Figura Esquema del Sistema de Alcantarillado con separador de orina.
 Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al, (2011)

Sistema 9: Biogás con o sin separador de orina

Sistema mediante un reactor de biogás para recolectar, almacenar y tratar las excretas. Adicional mente dicho reactor produce 'biogás' que puede ser quemado para alumbrar y/o cocinar. El sistema se usa con agua, pero la orina puede ser desviada si hay demanda de orina para la agricultura.

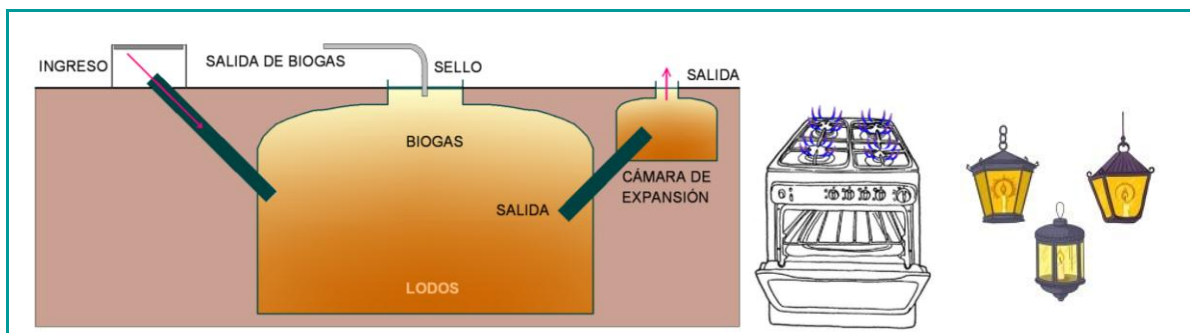


Figura Sistema de biogás con o sin separador de orina.
 Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

La separación y el uso directo de orina dependerá de la disponibilidad de agua y los hábitos locales de la comunidad. Si se instala un retrete de tanque con desvío de orina (y/o urinario), estará directamente conectado con un tanque de almacenamiento.

Dependiendo de la carga y del diseño del reactor de biogás, habrá una descarga continua de lodos líquidos o espesos. Aunque el material haya sufrido una degradación anaerobia, no está libre de patógenos y debe ser tratado antes de ser usado. Debido al volumen generado y al peso del material, los lodos deben ser usados in situ; son ricos en nutrientes y es un buen fertilizante. El biogás producido debe usarse constantemente, y puede ser quemado generando combustible limpio para cocinar, o para alumbrado.

Si el gas no es quemado, se acumulará en el tanque incrementando la presión, lo que podría provocar la explosión del reactor.

Un reactor de biogás puede trabajar con o sin orina. La orina almacenada puede ser transportada en pequeños contenedores o en tanques más grandes, de la misma manera que la orina, los lodos son transportados a los campos. De forma alterna como una modificación inicial, la orina podría ser desviada a un pozo de absorción.

Tabla . Tecnología para el Sistema de biogás con o sin separador de orina

Interfases de usuario	
Retrete con arrastre hidráulico	Retrete con tanque con separador de orina

Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

Este sistema es más adecuado en áreas rurales y periurbanas donde el espacio es adecuado y sea necesario reutilizar los lodos y la orina. El reactor puede ser subterráneo (por ejemplo bajo tierras de cultivo y, en algunos casos, caminos) y así ocupar menos espacio. Aunque un reactor es factible para un área urbana densa, la necesidad del manejo de los lodos generalmente hará que no sea aceptable.

Sin embargo, se debe tener cuidado de no sobrecargar el sistema, ya sea con demasiados sólidos o demasiados líquidos (por ejemplo aguas grises).

La mayoría de los materiales sólidos de limpieza y de materia orgánica pueden ser degradados en el reactor de biogás, sin embargo debe evitarse que sean grandes.

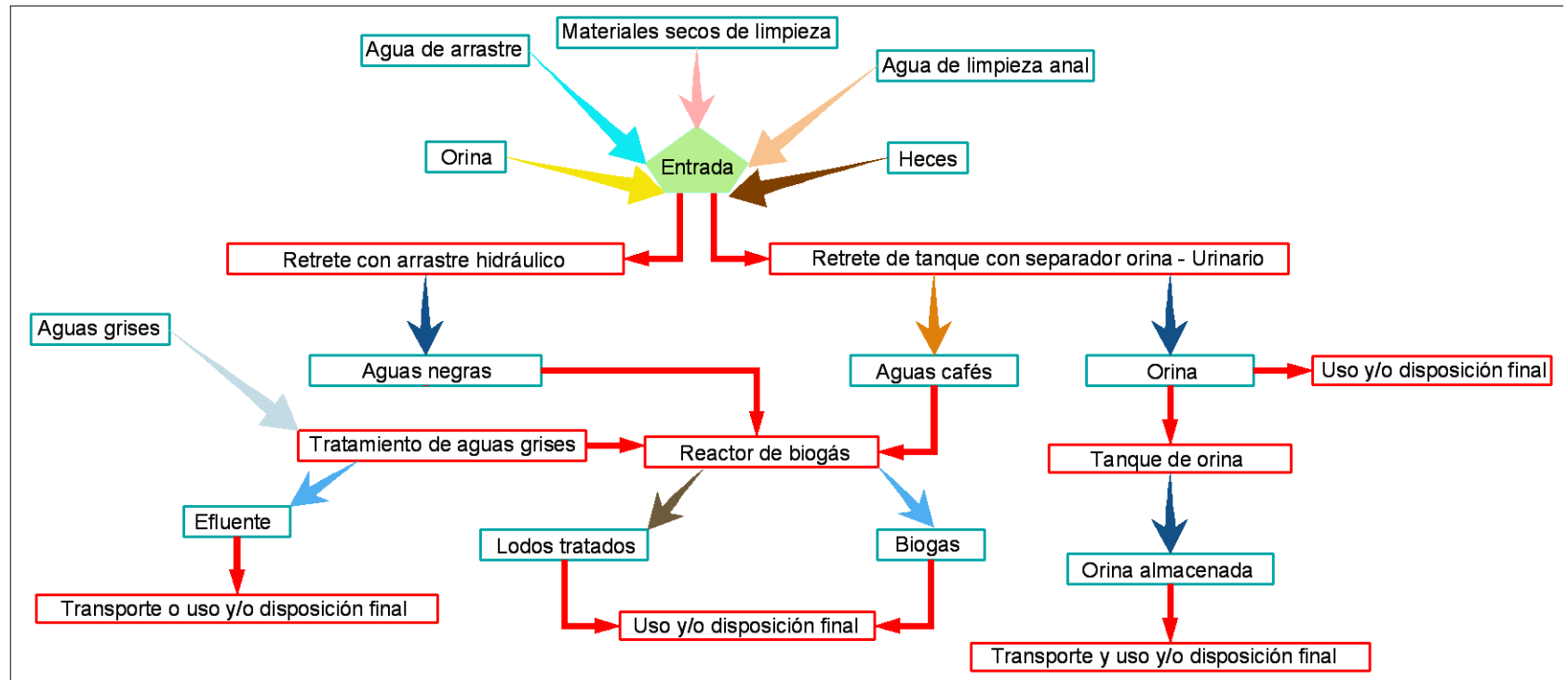


Figura Esquema del Sistema de biogás con o sin separador de orina.
 Fuente: Elaborado a partir de Tilley et al (2011)

3 SANEAMIENTO ECOLÓGICO (ECOSAN)

El Sistema ECOSAN corresponde a la separación de la orina y las heces, de tal manera que la orina sea casi inofensiva, y no se mezcle con las heces, siendo este último principalmente la fuente de los microorganismos patógenos. Este sistema se basa en la protección de la salud y prevención de enfermedades, al mismo tiempo en la conservación de recursos naturales y protección del medio ambiente. La finalidad de este tipo de saneamiento es la recuperación y el reciclaje de nutrientes.

En el sector urbano se han aplicado conceptos de saneamiento convencional o centralizado basado en tecnologías donde es necesario una buena cantidad de agua potable. Por otra parte en la mayoría de los sectores rurales se han instalado letrinas, sistemas temporales e inadecuados para la consolidación de una vivienda.

En ese sentido la contaminación y el alto consumo de agua potable demuestran la necesidad urgente de aplicar y gestionar sistemas diferentes, que reviertan la tendencia actual.

La introducción de un nuevo concepto dentro de los sistemas de saneamiento, ECOSAN, plantea alternativas adaptadas a cualquier condición geográfica para áreas rurales, periurbanas y urbanas; siendo una nueva opción para los que cuentan con sistemas sanitarios inadecuados, y letrinas o silos en condiciones insalubres.

Según la UNESCO, ECOSAN se define como sigue: "El concepto presenta los proyectos de saneamiento ECOSAN que en comparación con los conceptos" clásicos "se basa en una visión integral de saneamiento sostenible en términos ecológicos y económicos, que optimizan el uso del agua, los nutrientes y la energía de producción y distribución de agua potable, a través de los consumidores, para el tratamiento de aguas residuales y su destino final dentro de una realidad económica. ECOSAN siempre caracteriza a todo el proyecto y considera su relación con las condiciones locales".

Por lo tanto, es esencial tener en cuenta la cuestión operativa. En comparación con Europa, la "ventaja" de América Latina, desde el punto de vista de la implementación de conceptos ECOSAN es que existen enormes deficiencias en la cobertura de alcantarillado por lo que abre la posibilidad de aplicar nuevos conceptos que pueden ser más económicos que los sistemas convencionales.

3.1. Origen de ECOSAN

Los principales desafíos mundiales que existen en el sector de saneamiento son los millones de personas que no cuentan sin ningún tipo de sistema de saneamiento, los efectos a la salud que esto produce, la escasez de agua y contaminación, inseguridad en los alimentos, crecimiento desproporcionado en las áreas urbanas y las inadecuadas opciones sanitarias actuales.

En función de ello, la Agencia de Cooperación y Desarrollo Internacional (SIDA) y el Instituto de Medioambiente (SEI) de Suecia formaron y respaldaron en 1990 un grupo internacional de planificadores urbanos, ecologistas, ingenieros, biólogos, agrónomos, arquitectos y especialistas del campo social quienes desarrollaron un sistema de saneamiento alternativo al cual denominaron "Ecological Sanitation"; conocido y aplicado internacionalmente por su forma más abreviada como ECOSAN. Su fundamento es separar en origen la orina de la materia fecal basándose en tres principios fundamentales:

- ✓ Prevenir la contaminación en vez de ampliar la infraestructura sanitaria para tratar los efluentes cloacales previo a sus vertidos a los cursos superficiales.
- ✓ Higienizar la orina y la materia fecal para prevenir fundamentalmente las enfermedades hídricas que representan el 2º riesgo mundial (6,8%) en disminuir la expectativa de vida.
- ✓ Aplicar el concepto de reúso de los efluentes cloacales separados como productos seguros en la fertilización natural para la agricultura.

En el marco de los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDG) que fueron planteados en el Año 2000 por la Asamblea General de las Naciones Unidas para ser implementados en el período 2000-2015, se enuncia con el N° 7 al "Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente". Este objetivo consiste en el desarrollo de 3 metas:

- a) Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente
- b) Reducir a la mitad para el año 2015 el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y al saneamiento básico.
- c) Haber mejorado significativamente para el año 2020, la vida de por lo menos 100 millones de habitantes en zonas periurbanas y/o rurales.

Con respecto a la meta b) el Informe 2005 de las Naciones Unidas se indica que la cobertura de los servicios de saneamiento en el mundo en desarrollo aumentó del 34% en 1990 al 49% en el año 2002. Si continúa la tendencia actual, cerca de 2.400 millones de personas en todo el mundo seguirán sin tener servicios mejorados de saneamiento en 2015, es decir, lo que representa una cifra casi igual a la registrada actualmente.

Suecia, como país pionero en las temáticas ambientales, desarrolló en 1990 un nuevo concepto en saneamiento ecológico denominado ECOSAN, como producto de la investigación y estudio de un grupo internacional de ecologistas, especialistas del campo social y de la salud, ingenieros, biólogos, agrónomos, arquitectos y planificadores urbanos; basándose en la salubridad pública y en la transformación de los residuos en un recurso.

3.2. Eco-inodoro: separación de la orina y deshidratación de heces

El enfoque ECOSAN contempla principalmente la retención y el saneamiento de las excretas in situ, es decir, en las viviendas. Las heces que contienen la mayoría de microorganismos patógenos se desvían de la orina a través de un inodoro con separador de orina y la instalación de un urinario. Se agrega urea, cal viva o ceniza después de cada uso del eco-inodoro, para levantar el pH y secar las heces. Cuando una cámara está llena, se sella y se mueve el eco-inodoro por encima de la otra.

En este primer proceso de saneamiento se logra una reducción considerable de microorganismos patógenos después de un almacenamiento de seis a doce meses.

Alternadamente, para retornar las heces a los suelos hace falta un segundo tratamiento que puede ser efectuado a través de un proceso de compostaje (junto con desechos orgánicos) o agregando aditivos como urea o cal viva.

3.3. Consumo de agua potable

Para la reducción del consumo de agua potable es necesario que los habitantes cambien de comportamiento en base a tres principios para el manejo de las aguas servidas generados por la vivienda:

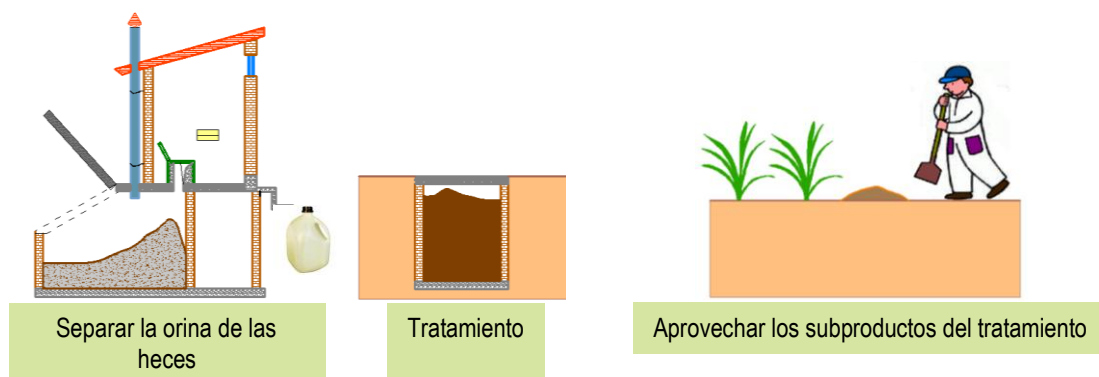


Figura Ecoinodoro: Taza separadora donde el transporte de excretas no requiere.
Fuente propia.

Por ejemplo una opción tecnológica, potencial en la reducción del consumo de agua es el Baño ecológico seco (BES), el cual es un baño definitivo, que puede estar incorporado dentro de la vivienda o cerca de ella, es un sistema que no utiliza agua, lo cual permite ahorrar el 30 % del agua destinada al arrastre de excretas en los inodoros convencionales. Esto genera un potencial enorme de reducción del consumo de agua: estimándose un ahorro de 50 l/hab día (para una dotación promedio de 150 l/habitante día), lo que representa una reducción anual del 18.25 m³ /habitante.

El ahorro en el consumo brinda además la posibilidad de abastecer a más personas con el mismo recurso y se generan beneficios económicos para el usuario; situación ventajosa en las zonas con escasez de agua potable más pobres. Otra ventaja es que no descarga aguas negras al subsuelo, evitando de esta manera la contaminación de los acuíferos. Los residuos que se obtienen de éstos baños se pueden recuperar y reciclar, sirviendo como aportantes de nutrientes y materia orgánica para el suelo.

3.4. Grado de contaminación

La **orina**, separada a través del diseño especial del eco-inodoro, contiene poca contaminación microbiológica, lo que permite su reutilización directa como fertilizante

líquido. Utilizando eco-inodoros, la orina pura (sin contaminación con los patógenos de las heces) puede ser reutilizada como fertilizante. La sustitución de fertilizantes químicos por fertilizantes naturales (guano y orina) mitiga el efecto de cambio climático porque baja la liberación del gas CO₂ de energía fósil, que es necesario para producir fertilizantes como la urea. La otra opción puede ser el tratamiento junto al resto de las aguas servidas generadas por la vivienda o verterla a lechos de secado sembrados con plantas.

Las **heces** tienen altas concentraciones de materia orgánica y son la fuente principal para la contaminación con bacterias fecales, patógenas y parásitos². Las excretas producidas se almacenan en letrinas o cámaras debajo del inodoro del baño de la vivienda. Su tratamiento aislado (sin mezcla con agua y orina) son el compostaje o deshidratación. El tratamiento de heces en forma de deshidratación es la manera más económica de tratar las heces y reducir su contenido en patógenos y parásitos, la deshidratación no libera gases como metano y permite el reuso de las excretas para mejorar los suelos en la agricultura, reciclando los nutrientes contenidos.

En el caso del compostaje, el tiempo de almacenamiento total recomendado depende de la temperatura, variando de año y medio a dos años en áreas donde la temperatura llega hasta 20°C; y un año donde llega hasta 35°C. La descomposición del material orgánico en el proceso de compostaje depende del contenido de oxígeno, humedad y relación de los nutrientes carbón y nitrógeno.

Sin embargo, para conseguir un producto completamente estéril se puede aplicar un proceso secundario como la incineración o carbonización de las heces.

Las **aguas negras** contaminan el ambiente, el agua y el suelo con bacterias fecales, materia orgánica y nutriente, por lo que es necesario un tratamiento con tecnologías convencionales. En climas cálidos es posible la utilización de biodigestión con aprovechamiento de biogás; sin embargo es una tecnología exigente en el

² Hasta hace poco, utilizar excreta humana como fertilizante fue la norma en la mayor parte de las culturas y sociedades, y era práctica establecida en Europa y Estados Unidos a principios del siglo XX.

mantenimiento, el biogás debe ser utilizado o quemado. En lagunas anaerobias tiene un efecto 21 veces más grande para el cambio climático que el gas CO₂.

Las **aguas grises** constituyen principalmente las sales (fosfatos de los detergentes) y sustancias orgánicas. Por otra parte estas aguas presentan un bajo contenido de nutrientes comparado con las heces y la orina. Estas consideraciones evidencian la necesidad de un tratamiento para la reutilización de estas aguas como agua de riego; sin embargo este tratamiento es más simple y económico que el tratamiento de aguas negras.

3.5. Volumen de aguas grises

En un sistema ecológico, el volumen de las aguas servidas por vivienda disminuye a consecuencia de la reducción del consumo de agua potable, y las aguas grises representan a las aguas servidas provenientes de la cocina, ducha, lavamanos y lavadero de ropa. Estas aguas deberían estar libres de contaminación fecal debido a la ausencia de heces; sin embargo requieren de sistemas de recolección y tratamiento adecuados antes de su vertido al medio ambiente, infiltración al subsuelo o reutilización.

Continuando con la aplicación de un saneamiento ecológico se instalan filtros o trampas dentro del lavatorio de la cocina y ducha para la retención de sólidos. Para áreas concentradas de alta densidad poblacional, y donde además el consumo de agua potable y la descarga de aguas grises de las viviendas son considerables, existen diferentes métodos de tratamiento. Un tratamiento posible es la instalación de una trampa de grasa a nivel de la vivienda para evitar la obstrucción de las tuberías de recolección, un pre-tratamiento mediante un tanque séptico seguido por un humedal artificial. Este sistema, bien operado, permite el reuso de las aguas grises tratadas para el riego de jardines, parques y cultivos que no son consumidos crudos.

3.6. Protección de la salud

La carencia de adecuadas condiciones higiénicas en la disposición de excretas humanas y las malas prácticas de higiene tienen incidencia negativa en la salud. En cuanto al saneamiento de excretas, el enfoque ECOSAN contempla varias opciones para eliminar los microorganismos patógenos. La siguiente sección presenta uno de

los posibles métodos: la deshidratación de las heces humanas recolectadas de manera separada de la orina.

3.7. Prácticas adecuadas de higiene

Cada enfoque apropiado de saneamiento (sea ECOSAN o convencional) debe tomar en cuenta campañas de educación para el cambio de hábitos y fomento de prácticas adecuadas de higiene.

3.8. Aspectos socio-culturales

Los proyectos sostenibles necesitan ser sensibles a la cultura local y deben incluir un fuerte componente de promoción, educación sanitaria y capacitación. Esta campaña debe integrar tanto a los usuarios del sistema (a partir de visitas personalizadas) como a las autoridades locales para lograr un alto grado de aceptación del sistema. Para facilitar el manejo de las excretas a los usuarios, pequeños proveedores privados podrían apoyar en la recolección de las heces secadas y la orina, en el transporte del material al sitio de tratamiento secundario y en el propio tratamiento y mercadeo y venta del producto final como mejorador de suelo.

3.9. Participación de usuarios y autoridades

Durante el diseño y la implementación del proyecto, la población y las autoridades deben participar en la toma de decisiones para asegurar que la población se apropie de las instalaciones. Es necesario tomar en cuenta la opinión y las necesidades particulares de las mujeres, ya que ellas son las responsables de la provisión del agua, la higiene y la preparación de la comida dentro de la familia y, por lo tanto, las que transmiten nuevos hábitos a sus hijos.

3.10. Seguimiento de proyectos

Es indispensable un adecuado seguimiento del proyecto después de su implementación para garantizar el uso correcto del eco-inodoro, revisar las actividades de operación y mantenimiento, averiguar el grado de aceptación del sistema y tomar en cuenta recomendaciones de la población y autoridades para su mejoramiento. (Calizaya J, 2006).

3.11. Sistemas sanitarios aplicando ECOSAN

La aplicación del ECOSAN es independiente del desarrollo socioeconómico y cultural de un país, es por ello que su implementación se ha difundido en lugares tan disímiles como China, Perú, Suecia, Alemania, Austria, Ecuador, Sudáfrica, Japón, Palestina, Noruega, Uganda, India, México.

Como parte de este Proyecto en Europa se desarrollaron proyectos con inodoros que sólo gastan alrededor de medio litro de agua, y dónde se desplazan los desechos con un sistema de aspiradoras hasta las pozas de procesamiento. El agua de la cocina, de las duchas y del lavado también es derivada por un sistema de tuberías hasta llegar a un humedal artificial, biofiltro, dónde se purifican las aguas para luego regar los espacios verdes del conjunto habitacional.

Otros sistemas, también basados en la separación de orina y heces, han funcionado con un biodigestor que procesa las heces y los desechos de la cocina generando biogas, el cual se emplea para iluminar y calefaccionar las habitaciones. Este sistema también se ha instalado en China, dónde los baños tienen otro diseño y en hoteles de diferentes partes del mundo, lo cual brinda valor agregado a la actividad turística, protegiendo el ambiente. (Roman A., Winker M., Tetenbron F. y Ottopohl R., 2007).

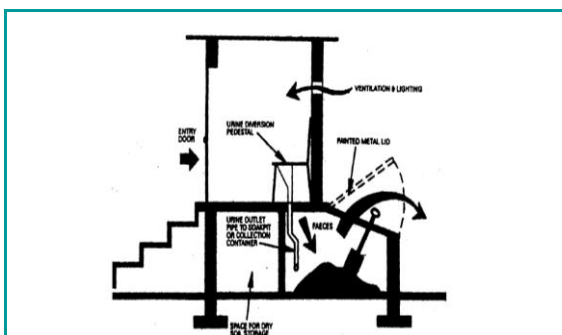


Figura Tecnología de separación de orina de 1999.

Fuente: Schlick J. y Werner C. (2001)



Figura La separación de aseo en cuclillas en China, Diseño de Lin Jiang.

Fuente: Schlick J. y Werner C. (2001)



Figura . La separación de la orina de las aguas de aseo en los sistemas de alcantarillado.
Fuente: Vakuum R. y Haustechnik Hanau (2001)

3.10.1. Sistemas sanitarios basados en la deshidratación

Estos sistemas ecológicos consisten en la deshidratación del contenido que cae en la cámara de tratamiento; esto se logra con calor, ventilación y la adición de material secante. Hay que reducir la humedad del contenido a menos de 25% tan pronto como sea posible, ya que con este nivel se acelera la eliminación de patógenos, no hay malos olores ni producción de moscas.

El uso de una taza de sanitario diseñada especialmente (sea una losa para acucillarse o una taza de pedestal), que desvíe la orina y la almacene en un recipiente aparte, facilita la deshidratación de las heces (ver figuras 29, 31 y 32). En general, resulta más difícil deshidratar el excremento mezclado con orina, aunque en climas extremadamente secos la deshidratación se facilita.

Sistema 1: El sanitario seco con doble cámara (Vietnam)

Este sanitario es de uso cotidiano en el norte de Vietnam, y en los últimos veinte años en América Central, México y Suecia. Los sanitarios vietnamitas tienen dos cámaras de tratamiento. Cada una de las cámaras mide 80 cm por 80 cm de ancho y largo, y 50

cm de altura. La figura 27 también muestra las aberturas de 30cm por 30 cm para retirar el material deshidratado.

En el norte de Vietnam fue práctica común la fertilización de los cultivos de arroz con excreta fresca. Esto se convirtió en una práctica peligrosa y en 1956 comenzó la construcción de sanitarios secos con doble cámara; seguida de constantes programas de educación sanitaria. El objetivo del nuevo diseño fue eliminar patógenos antes de la utilización de las heces en los campos.

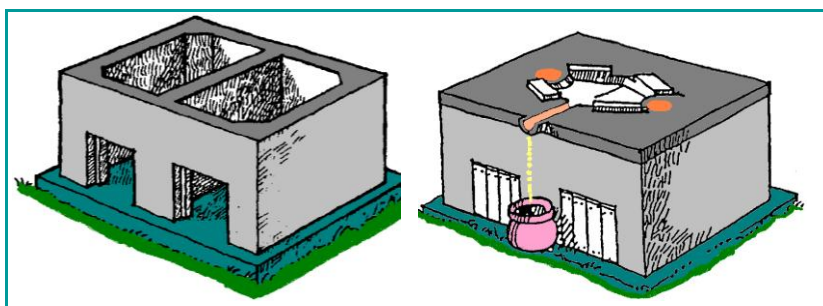


Figura Las cámaras de tratamiento del sanitario vietnamita con una losa.
Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

El sanitario se construye en su totalidad sobre la superficie y las cámaras de tratamiento descansan sobre una plancha sólida de concreto, ladrillo o barro. La plancha tiene por lo menos 10 cm de espesor para que las lluvias intensas no inundan las cámaras.

Una losa para acuciillarse cubre las dos cámaras de tratamiento; tiene dos orificios de entrada, descansos para los pies y un canal para orina que se almacena en una olla, detrás del sanitario.

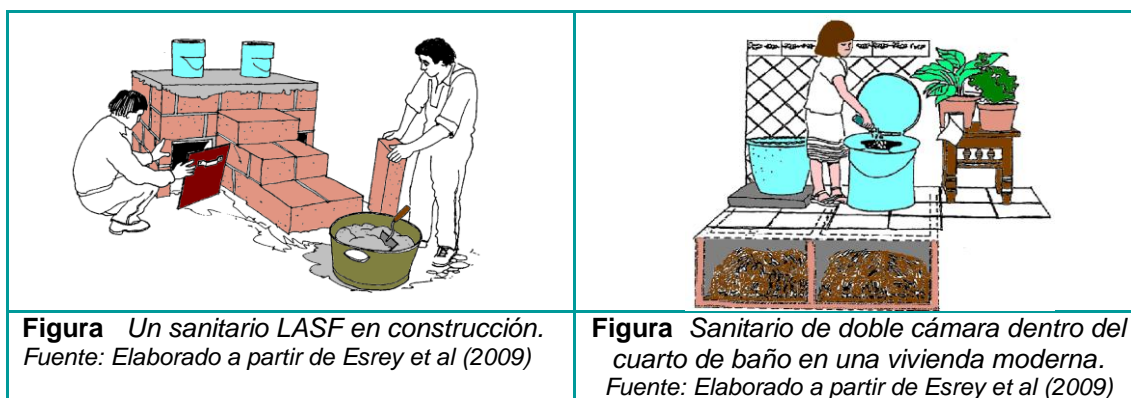
Se cubre el piso con una capa de tierra fina con el fin de que absorba la humedad de las heces y evitar que se peguen al piso. Los materiales secos de limpieza se depositan en un cesto u olla para después quemarlos. En las cámaras habrá heces, cenizas y tierra, una masa bastante seca y compacta.

Una familia de 5 a 10 personas puede utilizar la primera cámara dos meses, aproximadamente. Una vez que se llenan las dos terceras partes, se aplana el contenido y se llena la cámara hasta el borde con tierra fina y seca, finalmente la sella. Las heces deshidratadas, ahora desodorizadas, se utilizan como fertilizante.

En Vietnam, la experiencia con este sistema fue ambigua, en términos de funcionamiento, falta de comprensión e inadecuado mantenimiento.

Sistema 2: El sanitario seco con doble cámara (América Central y México)

Este sanitario a diferencia del anterior posee ligeras modificaciones al anterior. Se introdujo en Guatemala en 1978 y en los últimos veinte años se han construido miles de ellos en América Central.



Este sanitario LASF y el Sanitario Ecológico Seco cuentan con dos cámaras construidas sobre el nivel del piso; con un volumen aproximado de 60 cm³ cada una. Desde un colector, la orina fluye por una manguera hacia un pozo de absorción debajo de la cámara. Las heces caen directamente en la cámara de tratamiento. Después de utilizar el servicio, se espolvorea sobre la excreta, material secante.

Sobre cada cámara de tratamiento se coloca una taza de sanitario de pedestal y un colector de orina. El acceso a las cámaras de tratamiento, debajo del piso del baño, se encuentra fuera de la casa.

La cámara sólo debe recibir heces y material secante que se utilice. Cada semana, se mezcla el material y se agrega más cenizas.

Cuando la primera cámara está casi llena, se le agrega tierra hasta el borde y se cierra la taza. La mezcla seca que se obtiene de los sanitarios, se utiliza para recuperar los suelos desgastados o se empaqueta en bolsas para su venta.

A futuro se planea la vinculación de los usuarios de este sanitario con centros de composta comunitarios. Estos centros funcionarán como una industria de servicios, se vaciarán las cámaras de tratamiento y los tanques de orina, y llevarán el contenido hasta sus instalaciones para un segundo procesado y/o venta.



Figura *La separación de sanitario seco en México. Fuente: Schlick J. y Werner C. (2001)*

El modelo puede tener éxito en los climas secos sin humedad en las cámaras de tratamiento. En El Salvador el sistema se ha utilizado con éxito en zonas pobres densamente pobladas. El manejo adecuado de un sistema ECOSAN se debe a la motivación existente en las familias participantes y a la comprensión del proceso.

Sistema 3: El sanitario seco WM Ekologen (Suecia)

A principios de la década de 1980, el Instituto de Karolinska, Suecia, desarrolló el sistema WM Ekologen, basado en un proceso de deshidratación, diseñado para desviar la orina que se canaliza a un tanque de almacenamiento subterráneo.

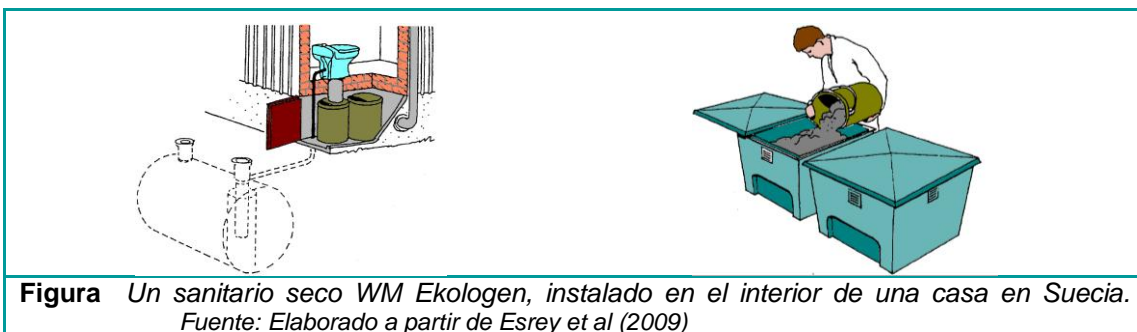


Figura *Un sanitario seco WM Ekologen, instalado en el interior de una casa en Suecia. Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)*

Se utiliza un litro de agua para que la orina fluya hacia un tanque subterráneo. El volumen del tanque está diseñado para contener 50 cm³ por persona.

Las heces y el papel higiénico usado caen en un depósito plástico con una capacidad de ochenta litros. Una vez lleno el depósito (después de dos o tres meses) se deja a

un lado y se coloca un depósito nuevo. El depósito lleno se deja en la cámara por un período de seis meses, aproximadamente. Después de ese tiempo, el contenido puede procesarse, como tratamiento secundario, en un recipiente ventilado para composta; y para que el papel higiénico se descomponga, o bien se incinere.

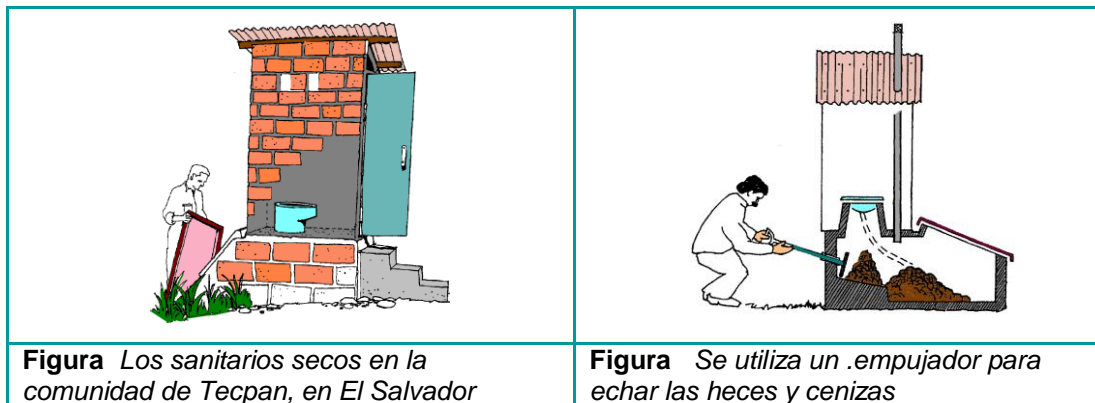
El sistema utiliza un extractor que saca el aire del sanitario, lo conduce hacia debajo de la taza, a la cámara de tratamiento, y luego hacia afuera por medio de un tubo de ventilación.

En Suecia el costo total de instalación (que incluye la taza de sanitario de pedestal, el ventilador, cámara de tratamiento, depósito transferible y un tanque para mil litros de orina) es de 650.750 dólares.

El WM Ekologen es un sistema sanitario bien probado, de alta calidad y diseñado para instalarse dentro del cuarto de sanitario en una casa moderna. Se utiliza tanto en zonas urbanas como rurales y en instituciones, lo mismo que en hogares privados.

Sistema 4: El «Tecpan» sanitario de una cámara con calentador solar (El Salvador)

En el año 1994, El Salvador desarrolló un sistema sanitario basado en la deshidratación con desviación de orina, con calentador solar para un sanitario con una sola cámara de tratamiento. Al incluir un calentador solar la humedad puede ser un factor de riesgo menos importante para un sistema sanitario basado en la deshidratación.



Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

Este sistema sanitario cuenta con una cámara y un calentador solar; con el propósito de incrementar la temperatura y por lo tanto la evaporación de las aguas negras dentro la cámara de tratamiento.

La materia en la cámara de tratamiento es excreta humana y cenizas, y/o una mezcla de tierra y cal en proporción de 5:1. La orina se canaliza hacia un pozo de absorción ubicado cerca del sanitario. El papel higiénico usado se deposita en una caja o una bolsa que se coloca cerca de la taza para quemarlo periódicamente.

Cada una o dos semanas, se levanta la tapa del recipiente que hace de calentador solar y se empuja hacia atrás el cúmulo de heces, ceniza, cal y arena que se encuentra debajo de la taza del baño. Cada dos o tres meses se retira el cúmulo de material seco desodorizado; se guarda en un costal y se almacena fuera del sanitario para su reciclaje en el patio.

Algunas unidades han sido equipadas con un empujador, el cual sirve para echar hacia el fondo de la cámara de tratamiento el material acumulado (véase la figura 33). El costo de un sanitario Tecpan que consta de un calentador solar y una taza de pedestal prefabricada de plástico (sin empujador) es de aproximadamente 164 dólares. La mayoría de las unidades de prueba se mantienen perfectamente secas, libres de malos olores y sin moscas.

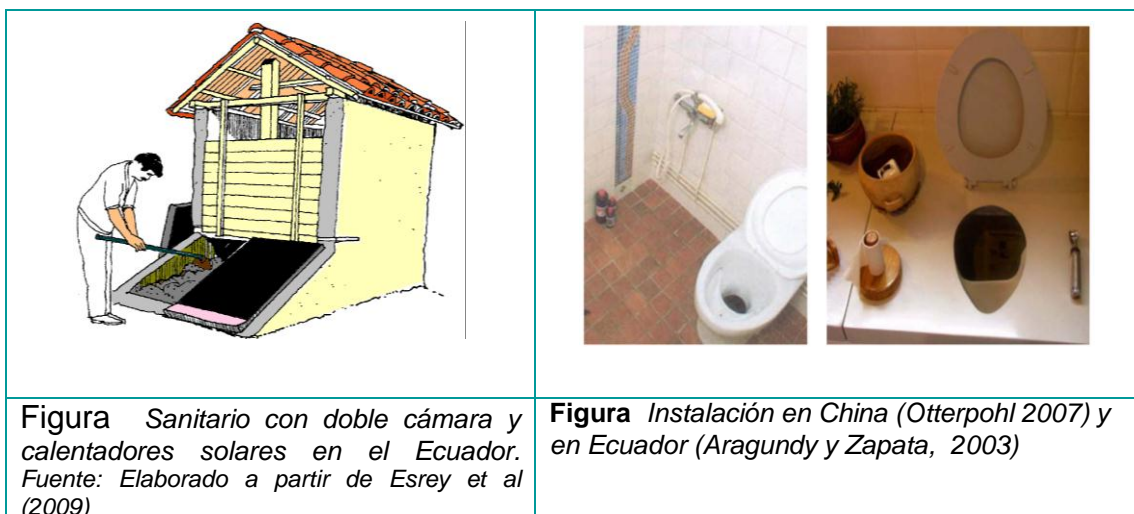
Sistema 5: El sanitario con doble cámara y calentadores solares (Ecuador)

Desde 1985, en la provincia de Cotopaxi, en la región andina de Ecuador, se han construido unos 300 sanitarios de doble cámara con tapas que hacen de calentadores solares. Se optó por un sistema de reciclaje, en un intento de subsanar el problema crónico de pérdida de fertilidad del suelo en las regiones a gran altura de 3,500 a 4,000 metros sobre el nivel del mar.

Debido a la sequedad de la atmósfera, en esta región no hubo necesidad de desarrollar técnicas para desviar la orina.

Cada cámara se utiliza por seis meses antes de cambiar a la siguiente, y cada una tiene una tapa hecha con un bastidor de madera. Este bastidor se cubre con lámina de

acero galvanizado, pintada de negro para que absorba la energía solar y contribuya al proceso de deshidratación. Las cámaras cuentan con un tubo de ventilación, mientras que las tapas tienen un respiradero para la entrada de aire. Tanto el tubo de ventilación como el respiradero están cubiertos con una malla de metal que funciona como mosquitero. La construcción de los sanitarios es a base de ladrillos secados al sol, hechos en el propio lugar, combinado con elementos prefabricados de madera. El sistema consta de una taza sanitaria de pedestal, una tapa para el orificio en la taza, un tubo de ventilación y una puerta.



Sistema 6: El sanitario seco de caída larga instalado al interior de las viviendas (Yemen)

En los barrios viejos en Yemen, las casas tradicionales tienen de cinco a nueve pisos que se elevan por encima de calles estrechas. El último piso cuenta con uno o dos cuartos de baño, muy cerca de un pozo (un cañón vertical, largo y angosto). En la Figura , se puede ver el recorrido que hace el cañón desde lo alto de la vivienda hasta el nivel de la calle.

La orina recorre por un canal hecho en el piso de piedra hasta llegar a un orificio abierto en la pared de la vivienda y cae por un drenaje vertical ubicado en la fachada externa del edificio. La mayor parte de la orina se evapora en su caída por el drenaje, y el resto, si queda algo, cae en un pozo de absorción donde se seca.

Las heces caen y se depositan en una cámara al nivel de la calle, de donde se recolectan periódicamente ya deshidratadas. Posteriormente, se ponen a desecar todavía más sobre el techo del sanitario público del barrio y, finalmente, se utilizan como combustible para calentar agua.

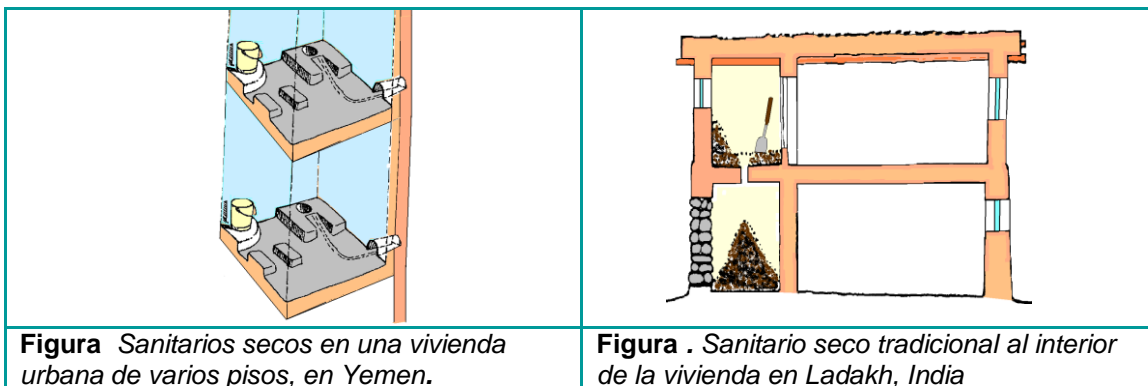


Figura Sanitarios secos en una vivienda urbana de varios pisos, en Yemen.

Figura . Sanitario seco tradicional al interior de la vivienda en Ladakh, India

Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

El lavado anal, después de ir al baño, se hace sobre un par de piedras, a un lado de la losa. El agua residual de ese lavado, lo mismo que el agua que se utiliza para bañarse, sigue el mismo camino que la orina. Así, no existen líquidos en el pozo ni en la cámara al nivel de la calle.

Puede funcionar en pueblos que utilizan agua para el aseo después de la defecación. Las heces se procesan en tres etapas: primero se deshidratan en el lugar mismo; segundo, se les someten a un proceso de desecado posterior con exposición directa a los rayos solares, en los sanitarios públicos, para finalmente incinerarse.

Sistema 7: El sanitario seco instalado al interior de la vivienda (Ladakh, India)

A una altitud de 3,500 msnm se encuentra Ladakh, una región seca a gran altura en la zona occidental del Himalaya. Las viviendas tradicionales cuentan con un sanitario dentro de la casa, en el piso superior. Debido a lo seco del clima, es posible deshidratar las heces sin separar la orina. Estos modelos funcionan en zonas rurales o peri urbanas.

Se coloca una capa gruesa de tierra traída del patio. La gente defeca sobre la capa de tierra, después empuja los excrementos hacia el agujero, mezclados con tierra y orina. De vez en cuando se agregan materiales secantes como cenizas.

En ciertas ocasiones puede percibirse un olor ligero a amoníaco, debido a la orina que salpica en la tierra que cubre el piso del cuarto de baño. No hay criadero de moscas debido a lo seco de la mezcla apilada de tierra y excremento.

3.10.2. Sistemas sanitarios basados en la descomposición (composta)

En un sanitario de composta se trata de alcanzar las condiciones óptimas para la descomposición biológica en el que las bacterias, los gusanos y otro tipo de organismos descomponen las sustancias orgánicas para producir humus; un medio rico y estable donde las raíces se consolidan fácilmente.

En un sanitario compostero se deposita la excreta humana y otros materiales orgánicos, pedazos de verduras, paja, turba, aserrín y cáscaras de coco. En una cámara de tratamiento los microorganismos del suelo se encargan de descomponer los sólidos, como sucede finalmente en un ambiente natural con todos los materiales orgánicos.

Se debe controlar la temperatura, la circulación de aire y otros factores. El humus que se produce en el proceso es un excelente acondicionador de suelos, libre de patógenos humanos, pero esto depende de lograr las condiciones adecuadas y que el material se almacene durante el tiempo necesario en el digestor. Debe circular suficiente oxígeno en el material acumulado para mantener las condiciones aeróbicas. La cámara de composta debe tener de 50 a 60% de humedad, debe alcanzarse una relación carbono: nitrógeno (C:N) de 15:1 a 30:1, y la temperatura debe estar por encima de 15°C.

Una gran diversidad de organismos contribuye a la descomposición de las heces y otros materiales en el sanitario de composta. Se puede colocar lombrices de tierra en el sanitario: si el medio les favorece, se multiplican, hacen orificios en el material de composta y consumen olores y materia orgánica, transformándolos en suelo orgánico enriquecido.

Los sistemas de composta podrían beneficiarse con la desviación de orina, sin embargo no se aplica en la mayoría de ejemplos de sanitario de composta. Algunos sistemas de composta dejan que el líquido separado se filtre al suelo, mientras que otros optan por la evaporación. En los sistemas de composta se pierde nitrógeno de la

orina, el humus sin embargo retiene otros nutrientes y es un acondicionador de suelo muy valioso.

Sistema 1: El sanitario de composta Clivus Multrum de una sola cámara (Suecia)

Hace más de cincuenta años que se introdujeron los sanitarios de composta en Suecia. La interfase de usuario en el sistema varía desde las pequeñas unidades convencionales a otras de mayor tamaño que utilizan una taza de sanitario de pedestal sencilla con un conducto que la conecta directamente a una cámara de composta, ubicada bajo el piso, donde se depositan las heces.



El Clivus Multrum, como el que se muestra en la Figura , es el modelo clásico. Este modelo tiene un conducto separado para los desechos de la cocina, comida, sobras, entre otros. El aire llega al centro del material de composta por medio de tubos con perforaciones.

Se trata de un sanitario de composta con una cámara donde se procesan orina, heces y los residuos orgánicos que se genere en la vivienda. Consta de una cámara de composta con piso inclinado, conductos de aire, y en el extremo más bajo, un área de almacenado. Un tubo conecta la taza de sanitario de pedestal con el receptáculo y, generalmente, cuenta con un conducto especial para los desperdicios de la cocina. Hay circulación de aire permanente gracias a la corriente natural que se origina en los conductos de aire de la cámara de composta. El aire sale por un respiradero.

Dentro del Sistema no deben depositarse latas, vidrio, plástico, ni grandes volúmenes de líquido de cualquier tipo. El material fresco que cae resbala poco a poco, desde la

parte donde se deposita, a la parte baja donde se va almacenando. El proceso de descomposición disminuye el volumen de la pila, reduciéndose hasta un 90%.

Se debe colocar una base en el piso de la cámara de composta (mezcla con pasto cortado). Esta base consta de una capa gruesa (40 cm) de turba y una capa de suelo rico en humus (20 cm). El propósito de esta cama es absorber líquidos y proporcionar los microorganismos necesarios para la oxidación de la orina. Poco a poco el material apilado se convierte en humus: una sustancia negra grumosa, similar a la buena composta para jardín. El área mayor del receptáculo nunca queda vacía, sólo se remueve el material separado de la cámara de almacenado. La cantidad de humus que se produce varía de diez a treinta litros por persona al año.

El humus que se produce en el Clivus Multrum tiene un contenido bacteriano similar al de la tierra. Como la orina no está separada previamente, y el piso de la cámara tiene un declive, hay cierto riesgo de que el líquido se acumule en el extremo más bajo de la cámara de composta, excepto en los climas secos. Para solucionar este problema, la segunda generación de Clivus Multrum cuenta con un recipiente para almacenar líquidos debajo de la cámara de composta.

Sistema 2: El sanitario de composta Carrusel, de varias cámaras (Noruega)

Desde 1972 se han construido 30,000 unidades y son más populares en Noruega. En Suecia y en Australia se fabrica un sanitario compostero similar. Se utilizan en Australia y Nueva Zelanda, y en las islas del Pacífico del Sur.

El diseño del Carrusel consta de una cámara subterránea de procesamiento en forma de tanque cilíndrico, dentro de la que hay otro tanque cilíndrico más pequeño que gira sobre un eje. Este segundo tanque está dividido en cuatro cámaras (seis, en otros modelos). La cámara en uso está justo debajo del conducto de caída de la taza sanitaria. Una vez que la cámara se llena, se hace girar el tanque de tal manera que la siguiente cámara quede en el lugar de la anterior; así, cada cámara se va llenando en secuencia. El sistema está diseñado para que las cámaras se llenen a lo largo de un año, siempre y cuando se utilice de acuerdo con lo planificado. Cuando la cámara se llena, el material más viejo se retira por una puerta de acceso; la primer cámara queda libre para continuar con la secuencia. Los líquidos se drenan por medio de unos

orificios en la base del tanque giratorio, para hacerlos caer al tanque externo, donde se evaporan o se descargan a una cama de evapo-transpiración. Se dispone de unidades con diversos tamaños y capacidades, a precios que oscilan entre los 1,700 y 2,300 dólares.

Puede lograrse el mismo resultado a un costo mucho menor, si se utilizan cubetas que se cambian manualmente de lugar, en vez de utilizar el tanque giratorio (también véase la figura 40).

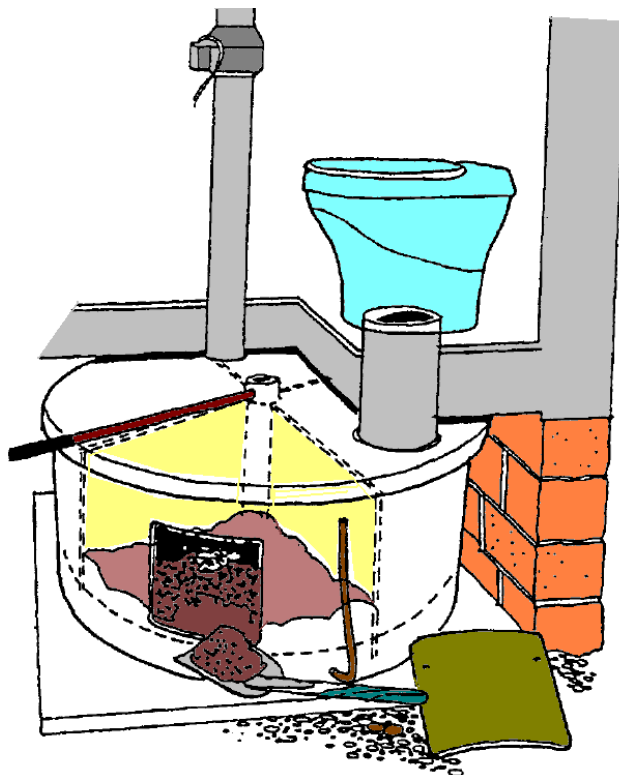


Figura El sanitario de composta. Carrusel de Noruega.
Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

Sistema 3: El sanitario de composta Sirdo seco con calentador solar (México)

En Tanzania, a mediados de la década de 1970, se probó un sanitario de composta con calentador solar con dos cámaras y un tubo de ventilación. Seguidamente se produce una unidad prefabricada hecha con fibra de vidrio con dos cámaras. Justo arriba de la pared divisoria existe un dispositivo desviador que dirige la excreta hacia una de las cámaras. Una vez que la cámara se llena, se gira una manivela colocada en la parte posterior de la taza de sanitario para cambiar la posición del dispositivo desviador, que envía la excreta hacia la otra cámara.

Ambas cámaras tienen una tapa pintada de negro, hecha de aluminio laminado. Las tapas reciben la luz solar directa, para captar la mayor cantidad de calor lo que incrementa la evaporación dentro de éstas. Cada cámara tiene una capacidad de 1.2 m³. Una vez que el material de composta llega hasta el dispositivo desviador, desde la parte posterior del sanitario, empuja el material de composta hacia el extremo más bajo del receptáculo, que hay que vaciar por lo menos una vez al año. Una ventaja de este modelo prefabricado y ligero es que es portátil.



Figura *La separación de instalación en seco en la construcción residencial en México, Fuente: S. Esrey, (1998)*

Sistema 4: El sanitario con recipiente portátil (Kiribati)

Se probaron con éxito varios prototipos para sanitarios composteros diseñados en Kiribati, país que forma parte de las islas del Pacífico Meridional.

En uno de estos prototipos se utiliza como cámara de composta, un recipiente de plástico para basura con capacidad para 240 litros. El recipiente tiene ruedas para su transporte. Cada recipiente cuenta con un piso falso hecho de malla, colocado a una distancia sobre la base del recipiente, por dentro, que permite que los líquidos se cuecen hacia la base y de ahí fluyan por un tubo hacia una cama sellada de evapotranspiración. Mediante un respiradero ubicado muy cerca de la base, se genera una corriente de aire dentro del recipiente; el aire entra en contacto con la base del material de composta a través del piso de malla. Además, el recipiente cuenta con

orificios de ventilación dispuestos verticalmente a lo largo de sus paredes internas, lo que contribuye a que el contenido se airee.

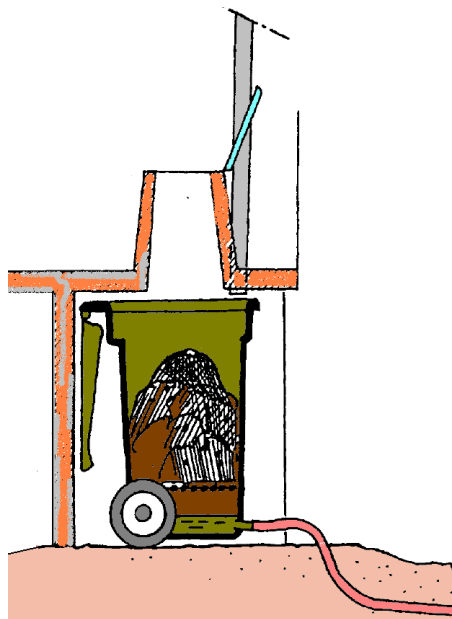


Figura *Un sanitario de composta con desviación de líquidos.*
Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

La cámara de tratamiento es un bote, de plástico, normal para basura y con ruedas. El bote está acondicionado para drenar el exceso de líquido. Se coloca uno de los recipientes debajo de la taza de sanitario, donde se deposita la excreta y se reemplaza con otro vacío.

A pesar del alto grado de humedad relativa en la isla de Kiribati, los resultados preliminares señalan que el diseño produce, de manera exitosa, residuos similares al humus.

Sistema 5: El sanitario CCD (Pacífico del Sur)

El sistema sanitario para Greenpeace y el Centro para el Desarrollo Limpio diseñado para los climas extremadamente húmedos, hace hincapié en la cero descarga, además de la separación y reciclado de orina.

El sanitario CCD tiene dos cámaras herméticas construidas sobre el nivel del piso. Al igual que en otros sanitarios con doble cámara, la excreta se deposita en una de ellas.

Para maximizar el período de composta, las cámaras se utilizan de forma alternada y el humus que se retira sirve como acondicionador de suelo. La excreta se deposita en un petate de hoja de palma, que a su vez descansa en una red para pescar hecha de hilo de nylon, suspendida dentro de la cámara de asimilación que separa los líquidos de los sólidos.

El piso falso permite que el aire circule a través de todo el material. Periódicamente se agregan a través de la taza sanitaria de pedestal, la materia orgánica, proporcionando una fuente de carbón (energía) e incrementando la porosidad del material, y con ello facilita la circulación del aire en el interior de la cámara.

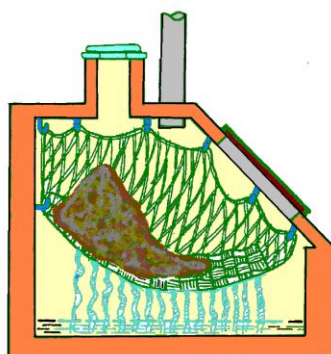


Figura El sanitario de composta CCD.

Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

Un tubo grueso permite la entrada de aire hacia el material de composta. Hay una toma de aire por debajo de la red de pescar y corre a lo largo de la pared posterior de la cámara. Esta corriente de aire ayuda a la evaporación de los líquidos acumulados en el piso de la cámara de asimilación. La evaporación se hace más eficiente si se cuelgan pedazos retorcidos de poliéster o rayón (de ropa vieja) de la red de pescar, pues éstos absorben el líquido que se acumula en la base de la cámara e incrementan el área expuesta a la corriente de aire. Otra solución es el drenado del líquido hacia una cama de evapo-transpiración.

Una vez que el material de composta alcanza una altitud apenas por debajo de la taza sanitaria, se cierra la cámara en uso y se cambia el asiento de la taza sanitaria, colocándola en el pedestal de la otra cámara. La cámara que queda expuesta se cierra colocando una tapa pesada de concreto.

Una vez que la segunda cámara se llena, se recomienda eliminar la composta de la primera para utilizarla como acondicionador de suelo. Por medio de un acceso se saca la composta o toda la red.

El sistema de sanitario CCD permite la evaporación de líquidos, requiere de una sola operación, y prácticamente no requiere mantenimiento en climas húmedos.

Sistema 6: El sanitario con doble cámara (India)

Es un sanitario vietnamita (con doble cámara con desviación de orina) que opera por deshidratación y por descomposición (sí se le agrega material rico en carbón). El éxito, se debe a la participación de la población local.

Sistema basado en agua e incluye aguas de limpieza anal. La orina se separa, junto con el agua de limpieza anal por medio de una cama de evapotranspiración anexa al sanitario. Antes de que el sanitario se use por primera vez, es necesario colocar paja en la cámara, lo que proporciona una base rica en carbón para recibir las heces y absorber la humedad. Después de cada uso se esparce un puñado de cenizas. De vez en cuando se agrega un poco de paja, hojarasca y pedazos de papel, lo que significa que está implícito un proceso de descomposición, más que uno de deshidratación. Esto lo confirma la reducción en volumen que experimenta el material que se acumula dentro de la cámara. La primera cámara se abre hasta después de un año de operación o más.

La cama de evapotranspiración requiere de muy poco mantenimiento. Todo lo que se necesita es podar el zacate muy crecido, para después cortarlo en trozos y echarlo a la cámara de tratamiento.

En presencia de mantos freáticos superficiales y contaminación de pozos por filtraciones provenientes de letrinas convencionales e inodoros, se seleccionó un sanitario seco en alto.

La introducción del sistema ha sido muy cuidadosa durante los últimos tres años: hasta ahora 135 familias cuentan con este sanitario, en diferentes poblaciones.

El costo de estos sanitarios es de unos 100 dólares.

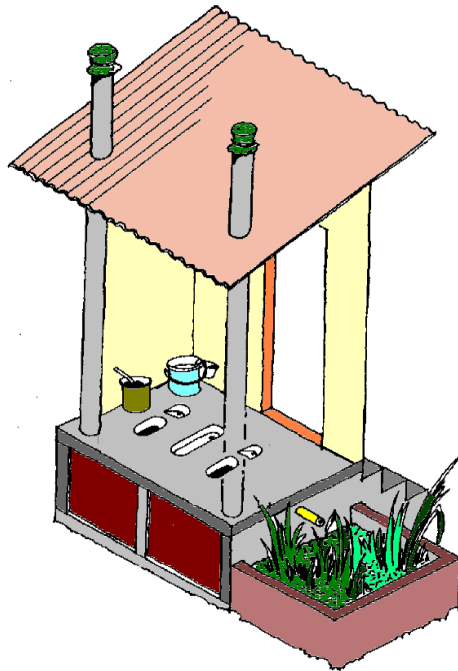


Figura *El sanitario de doble cámara en Kerala.*
Fuente: Elaborado a partir de Esrey et al (2009)

Sobre cada cámara hay un agujero por donde pasan las heces, y un canal para la orina, a manera de embudo. Entre las dos cámaras hay otra especie de embudo, para el agua de limpieza anal que fluye hacia la cama de evaporación, dispuesta con calabaza o plátano. Esrey et al (2009)

3.12. Experiencias con ECOSAN en Lima

En Lima (Perú) se comenzó a implementar el concepto descentralizado de saneamiento ECOSAN desde el año 1999, mediante proyectos piloto llevados a cabo por el Instituto de Desarrollo Urbano, CENCA. Estas iniciativas se realizaron con el objetivo de implementar soluciones alternativas, integrales y sostenibles de saneamiento.

La tabla 13 muestra los Asentamientos Humanos de Lima donde se aplicaron el Sistema de doble cámara con separador de orina, y con tecnología para el tratamiento mediante humedal artificial.

Tabla . Soluciones ECOSAN, módulos de baños con deshidratación

Año de construcción	Ubicación del proyecto - Lima	Número de módulos EcoSan instalados	Planificación de las ONG
1999	San Juan de Lurigancho – Zona Húascar	38	Cenca
2001	Ventanilla – Ciudad Nueva Pachacutec	140	Alternativa
2003	Lurigancho de Chosica – AH Nievería	43	Cenca
2007	Lurigancho de Chosica – AH San Francisco	35	Cenca
2007	Chorrillos – Colegio San Christoferus	12	Alternativa

Fuente: Elaborado a partir de Oswald P. y Hoffmann H. (2007)

La Figura 45 muestra la ubicación de los proyectos en Lima:

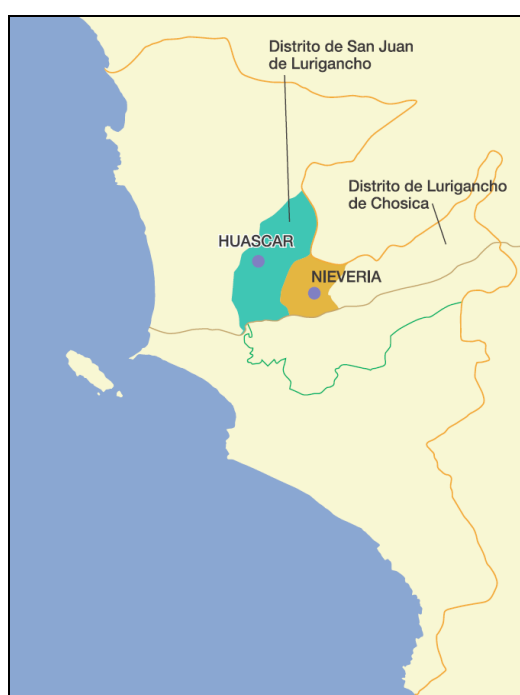


Figura Ubicación de los proyectos piloto de ECOSAN en el cono este de Lima.

Fuente: Calizaya J.C. (2006)

3.11.1. La experiencia de Nievería

Es una de las zonas más pobres de Lima, y cercana a la capital que sigue teniendo un carácter rural. En sus centros poblados, donde se desarrollaron las intervenciones viven alrededor de 400 familias (cerca de 2,000 habitantes).

El proyecto empezó en el año 2003 por la ONG española CESAL con la colaboración del Instituto de Desarrollo Urbano CENCA. Se plantearon y ejecutaron la instalación de un sistema de abastecimiento de agua potable independiente de la red pública de

Sedapal y la implementación de un sistema alternativo de saneamiento de acuerdo a los principios de ECOSAN, bajo el modelo de gestión Ecodess.

3.11.1.1. Ecodess

Consiste en un sistema de gestión sostenible de agua y saneamiento ecológico como una alternativa para la gestión del servicio en la ciudad, en ámbitos urbanos, peri-urbanos y rurales. Los siguientes factores definen su sostenibilidad (Calizaya J.C., 2006).

Aspecto institucional: Es el componente principal de gestión del sistema y el aspecto orgánico institucional. Se aplica por medio de una instancia de gestión representativa de los usuarios constituida en una asociación.

Aspecto social: Es la adopción del sistema por los usuarios. La participación social se expresa también en la vigilancia y el cuidado permanentes del buen funcionamiento del sistema. Económicamente, el sistema necesita del respaldo social en el pago de una tarifa apropiada.

Aspecto económico: Además de la administración para una tarifa apropiada por el servicio brindado, es la promoción de inversión local en la implementación del sistema como negocio, de tal manera que promueva empleo local y actividades económicas a través de microempresas locales, relacionadas con:

- ✓ Asistencia técnica en ECOSAN.
- ✓ Producción de insumos como el material secante, repuestos y accesorios.
- ✓ Recolección de composta y orina desde las viviendas o centros de acopio hasta las plantas de almacenamiento y tratamiento.
- ✓ Mantenimiento del sistema domiciliario y vecinal de los baños ecológicos y sistemas de tratamiento.
- ✓ Comercialización de productos reciclados como abono orgánico y mejorador de suelo agrícola, producto de la orina y agua tratadas para riego.

Los costos directos del sistema de saneamiento están detallados en la Tabla 14.

Tabla . Costos directos de los sistemas implementados del proyecto Nievería

Sistema de agua potable (US\$/vivienda)*	Sistema ECOSAN (US\$/vivienda)*		
396	603		
	Costos del sub-sistema doméstico (US\$)		Sub-sistema vecinal (US\$)
	Baño ecológico	Lavadero de ropa + Red colectora + Sistema de tratamiento	Red colectora
	415	140	23

Fuente: Elaborado partir de Calizaya J.C. (2006)

* Costo directo total

Aspecto técnico y ambiental: Según el enfoque ECOSAN implica separar, sanear y reciclar para reusar. Los elementos básicos del proceso son los baños ecológicos con la taza separadora o eco-inodoro de usos definitivos en el interior de la vivienda; y los biofiltros (o plantas de fito-tratamiento) centralizados y sectorizados de acuerdo a la trama urbana y espacios a irrigar.



Figura Esquema de un sistema ECOSAN seca con separación de orina. Fuente propia

La base del sistema es el eco-inodoro, el cual consiste en una taza separadora de orina y excretas. Debajo del eco-inodoro se colocan cámaras o contenedores donde se almacenan las excretas hasta su transformación en compost como se muestra en la figura 46.

El tratamiento del efluente de cada vivienda se realiza a través de una cámara atrapa grasas y un canal de fito-tratamiento (un humedal artificial pequeño) sembrado con juncos como se puede apreciar en la Figura 47.

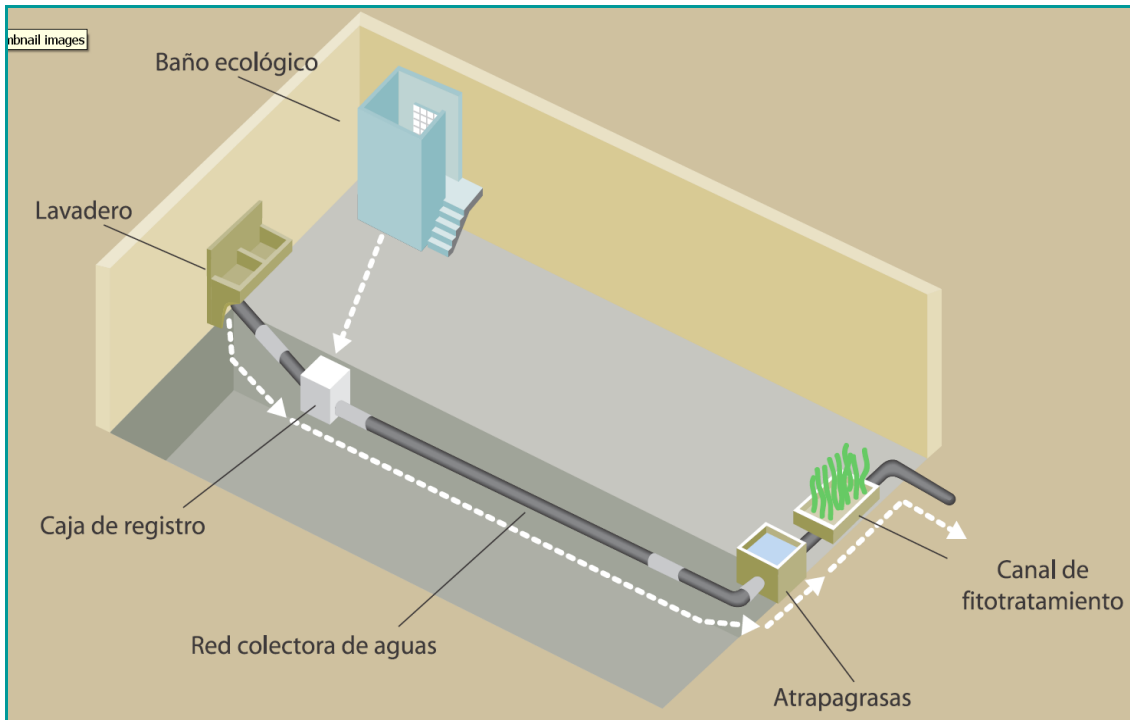


Figura *El subsistema técnico a nivel doméstico.*
 Fuente: Calizaya J.C. (2006)

Existe un segundo sub-sistema técnico a nivel vecinal, conformado por una red colectora externa que recoge los efluentes de los 43 lotes conectados para su posterior vertido a un canal de riego. Las viviendas que no están conectadas a la red colectora cuentan con pozos de percolación. La Figura 48 explica el sub-sistema vecinal.

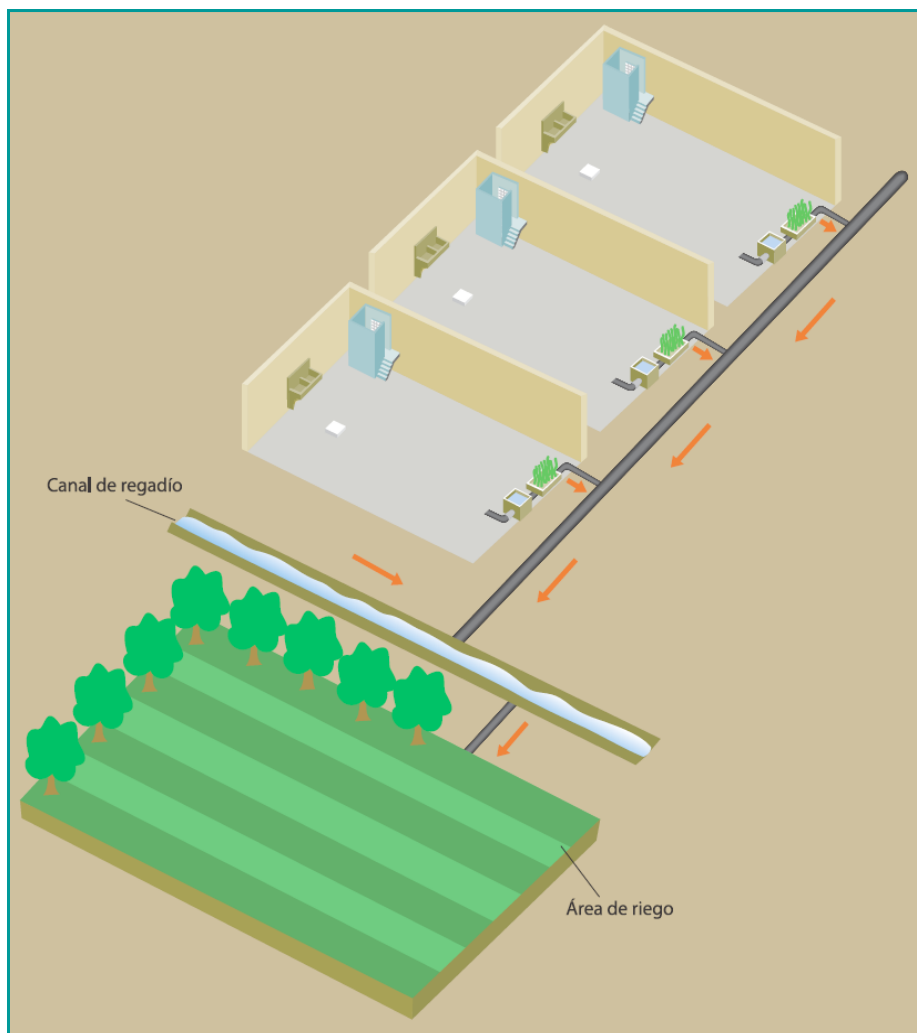


Figura *El sub-sistema vecinal de Nievería.*
Fuente: Calizaya J.C. (2006)

3.11.1.2. Caracterización de los efluentes

La calidad del efluente tratado: Los efluentes tratados por los sistemas a nivel doméstico se recolectan a través del sistema vecinal y se descargan a un canal de regadío (ver Fotografía), cuyas aguas se captan del río Rímac. Aunque el efluente recolectado no cumple con la calidad adecuada para ser usado para el riego agrícola según la Ley peruana, se asume que el canal presenta un grado similar de contaminación fecal, debido a su alta carga de residuos sólidos y otros desechos humanos vertidos al canal por la población aguas arriba (ver Fotografía).



La calidad microbiológica de las heces deshidratadas: En la actualidad la población usa parcialmente el compost del eco-inodoro en sus campos, a pesar que se trate de baja calidad. En el futuro se quiere mejorar el compost a través de su mezcla con desechos orgánicos de la cocina.

Tabla . Calidad de los efluentes tratados.

Parámetros	E.Coli (NMP/100ml)	Ntotal (mg/l)	Ptotal (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Sol.susp. (mg/l)
Efluente recolectado	160 000	—	11.6	79	92
*Norma	1000	—	—	10	—

Fuente: Elaborado a partir de Shapira e Ivarez 2006.

* Ley General de Aguas, Decreto No. 077-83-SA

3.11.2. La experiencia en Huáscar

El proyecto demostrativo realizado en 1999, se ubica en las laderas del Asentamiento Humano Huáscar, área sin servicios de agua y saneamiento en ese entonces, pero cercana a la red colectora de Huáscar.

Se construyó un sistema de tratamiento del efluente al exterior de cada vivienda beneficiada; tal sistema estuvo conformado por una trampa de grasas seguido de un pequeño sistema con humedal artificial. Además se instalaron eco-inodoros y redes interiores de tuberías para evacuar las aguas residuales generadas, las mismas que están compuestas por orina y aguas grises.



Figura Esquema del sistema del proyecto Huáscar.
 Fuente: Calizaya J.C, (2006)

Los efluentes tratados de las viviendas eran canalizados a través de un sistema de redes exteriores y conducidos a una segunda etapa de tratamiento mediante un humedal artificial. Con el objetivo de irrigar el parque del barrio con el efluente final del sistema de tratamiento, se instaló una cisterna de almacenamiento y un sistema de riego por goteo debajo de la superficie.

Tratamiento de las excretas: El sistema de doble cámara de los eco-inodoros (baños ecológicos secos) para el almacenamiento y secado de las excretas, fue diseñado de concreto armado con un volumen por cámara de 0.3 m^3 , lo que implicaba una capacidad de almacenamiento de aproximadamente año y medio considerando una familia de cuatro a cinco personas.

Manejo de los efluentes: La remoción de los contaminantes no era efectiva debido a que el área de los humedales artificiales construidos en el proyecto piloto no era suficiente para proporcionar una remoción adecuada de contaminantes. Sin embargo, se volvió a usar el efluente del sistema para la irrigación del parque del barrio.

El costo directo de la instalación de la infraestructura de saneamiento con enfoque ECOSAN se muestra en la Tabla .

Tabla . Costos de implementación del proyecto y sus partes

Sistema ECOSAN (US\$/vivienda)*			
500			
Baño ecológico	Sistema de tratamiento doméstico	Instalaciones de redes interiores y exteriores	Sistema de tratamiento central

Fuente: Elaborado a partir de Nava, (2002).

Dificultades y desafíos: El sistema de riego y mantenimiento del parque no continuó debido principalmente a conflictos sociales más que a motivos técnicos. El comité del parque nunca tuvo el apoyo del gobierno local para solucionar el conflicto con los vecinos opositores, quienes arrojaban sus aguas servidas al parque, con lo cual se debilitó la organización social local. El proyecto tuvo un tiempo de vida de cuatro años. Luego el programa estatal Mi Barrio tomó este asentamiento como base piloto para el mejoramiento de las condiciones de vida del barrio incluyendo el aumento de la cobertura de los servicios de agua y saneamiento.

3.11.3. La experiencia del Colegio San Christoferus

El proyecto comenzó en el año 2007 para los 70 habitantes del Colegio San Christoferus, ubicado en el distrito de Chorrillos en Lima Metropolitana.

El Sistema cuenta con tres humedales artificiales de tipo WTL-Rotaría. Además fueron implantados dos baños ecológicos secos con separación de orina y deshidratación de heces y diferentes tipos de compostaje, entre ellos un filtro de compostaje para el pre-tratamiento de aguas negras y el sistema ECOSILO ALKE para el tratamiento de basura orgánica de la cocina.

Todos los productos son reutilizados para fertilizar el suelo.

Se construyeron dos sistemas de tratamiento independientes, con humedales artificiales de flujo vertical de tipo WTL-Rotaría. Un humedal trata las aguas grises y los otros dos tratan las aguas negras. Los humedales necesitan de un pre-tratamiento adecuado por el tipo del efluente.

Las aguas grises pasan por un pre-tratamiento (trampa de grasa) que luego son bombeadas y son recolectados por un dren que está conectado con un pozo de riego.

Las aguas negras vienen de 12 baños incluyendo el agua de limpieza anal (incluyendo duchas y lavaderos). Para la separación de las aguas negras el sistema consta de un filtro de compostaje, donde pasa por una cesta de malla llenado con pajas y un tubo de ventilación. Los sólidos se acumulan dentro de esta cesta y la fase líquida pasa por debajo del fondo de la cesta hacia un tanque. Se cuenta con 2 unidades y funcionan alternadamente. Los lodos fecales son retirados a una cámara con lombrices para terminar el proceso de compostaje de sólidos.

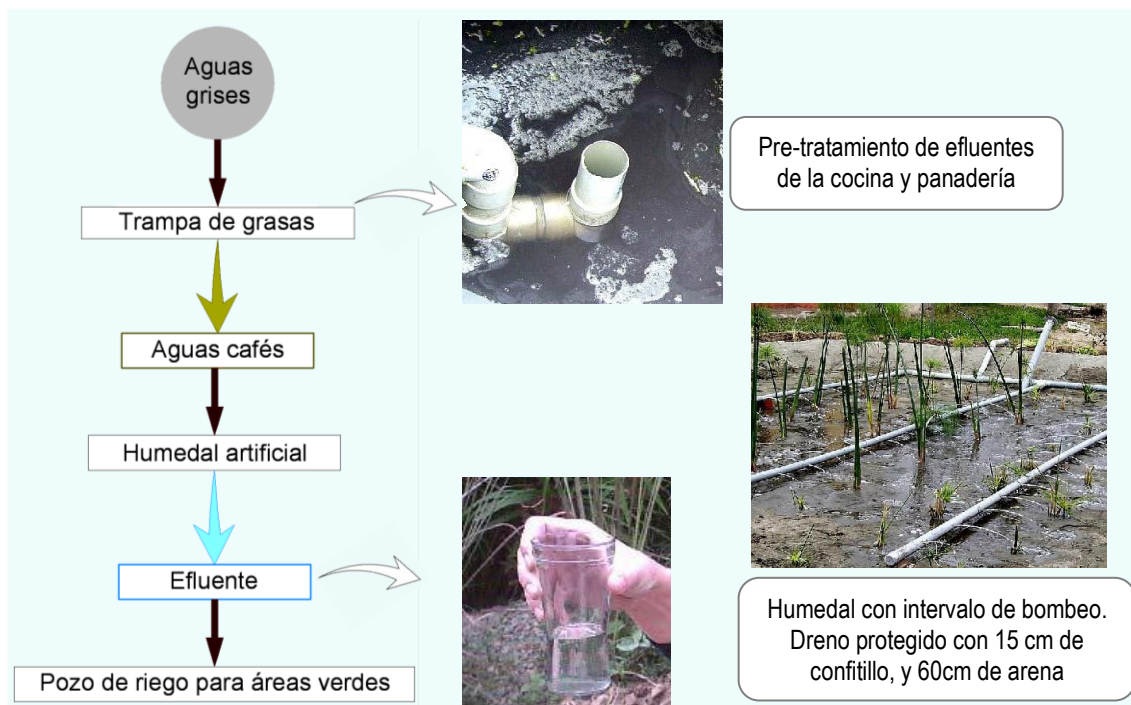


Figura Tratamiento de aguas grises. Fuente: propia.

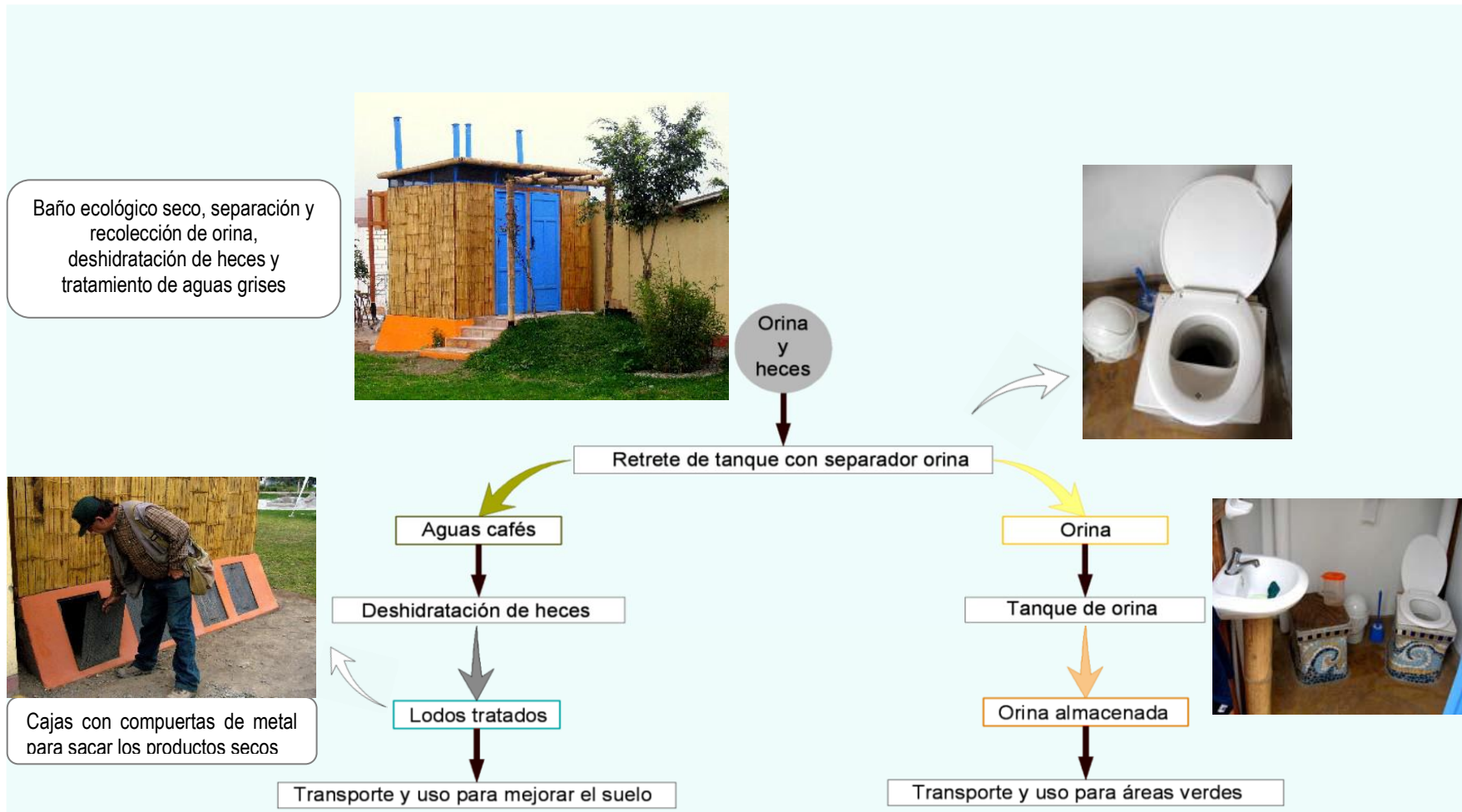


Figura Tratamiento de la orina y heces.
Fuente: propia.

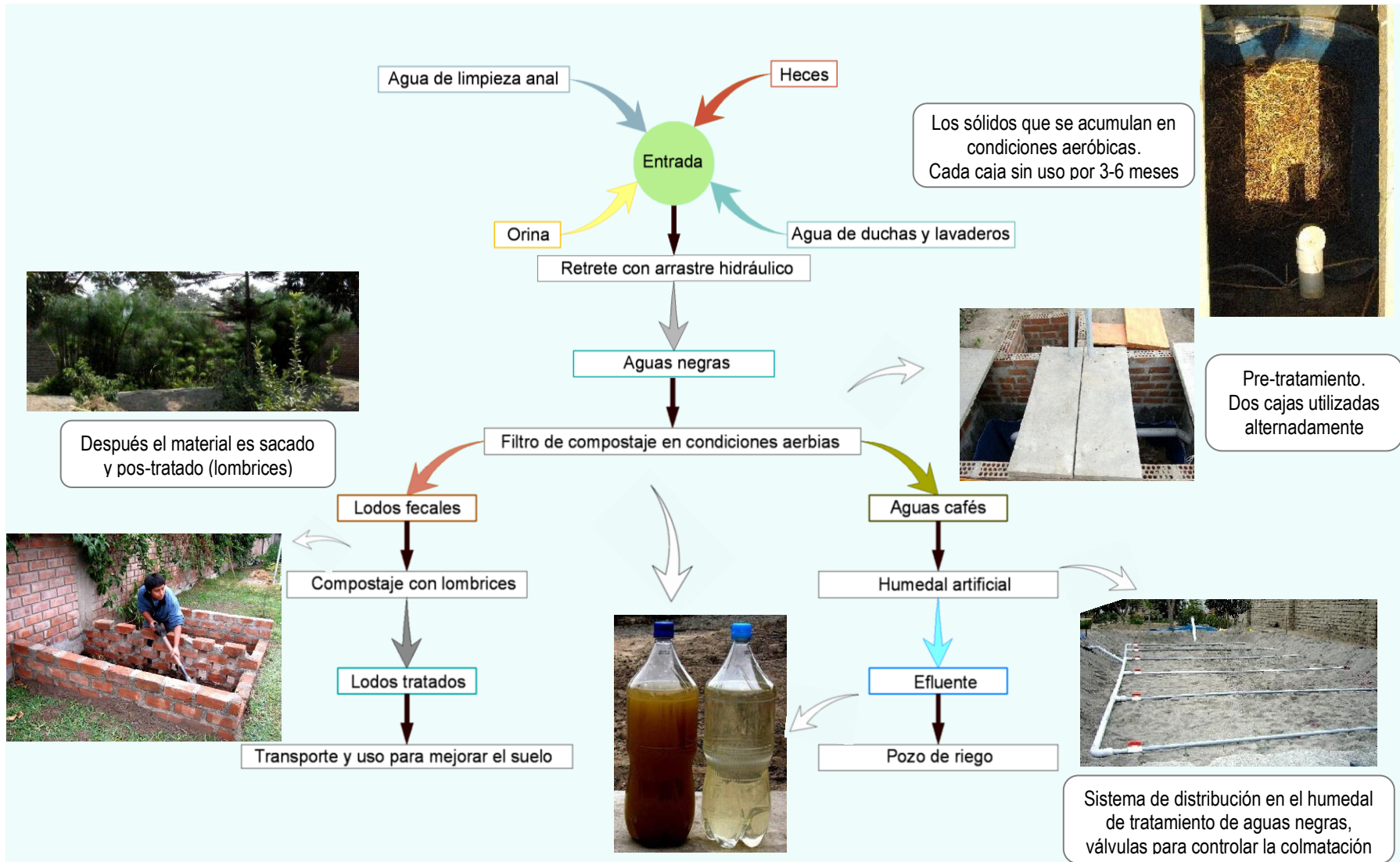


Figura Tratamiento de aguas negras.
Fuente propia.

El efluente líquido del filtro de compostaje se trata en un humedal de flujo vertical, en 4 a 6 intervalos por día con ayuda de una bomba.

Se instalaron 2 retretes secos con separadores de orina. Debajo de cada inodoro se encuentra una caja ventilada donde las heces se secan. Cuando una caja se llena, se utiliza la otra y el asiento de separación se cambia de un inodoro a otro. La orina es recolectada, separada y reutilizada en el jardín para fertilizar el suelo, mientras que las aguas grises son tratadas por separado en un pequeño humedal con bambú e infiltrado directamente al suelo.

El compost sirve para mejorar la calidad del suelo. El sistema para las aguas grises cuenta con 23 personas; y el sistema para las aguas negras con 30 personas.

El volumen de la Trampa de grasa fue de 0,82 m³ y está conectada a un pozo, del cual el agua es bombeada en forma intermitente acorde con la alimentación del humedal.

El Filtro de compostaje es subterráneo y consta de dos cámaras construidas de ladrillos, cada una con una profundidad total de 1.6 m y una área de 1.2m de largo por 1.2 m de ancho, y las tapas de inspección fueron perforadas para instalar las tuberías de ventilación en cada cámara. Frente a este filtro se localiza un pozo más profundo, para reunir a los efluentes filtrados, posee una profundidad total de 2.3 m y está equipado con una bomba sumergida.

Las cámaras de compostaje y el pozo son impermeabilizadas hasta la altura de entrada de las aguas negras, y son cerrados con tapas removibles de concreto y madera.

El humedal para el tratamiento de aguas grises posee un área superficial de 21.6 m² y la profundidad total es de 1.1 m. La geomembrana de PVC (1mm) garantiza su impermeabilización. La distribución se realiza mediante 3 tubos de agua, los cuales fueron perforados. El agua tratada que se junta en el drenaje del fondo por un tubo de desagües el cual fue perforado. En su otra extremidad el dren debe estar conectado con la superficie a través de un tubo de control.

El humedal para el tratamiento de aguas negras posee un área superficial de 45 m² y la profundidad total es de 1.3 m. Las aguas negras se bombean y se distribuyen por 6 tramos de tuberías de agua en toda la superficie del humedal.

La necesidad de oxígeno en los humedales y eliminación de sobrecargas, garantizan el éxito del proceso.

La sobre producción de las aguas negras, disolvió muchos sólidos en el pre-tratamiento (filtro de compostaje) que se transportó al humedal, causando así también una carga orgánica elevada. Para el mejor control de la carga orgánica, la superficie del humedal está dividida en tres partes que pueden ser operadas independientes, esto se ha probado para controlar la colmatación.

Se recomienda la desinfección antes de su reutilización en áreas con categoría A (OMS).

El pre-tratamiento de aguas negras en un filtro de compostaje es muy recomendable los climas calientes, especialmente para el pre-tratamiento de desagües negras concentradas. El producto después de 3 a 4 meses de mantenerse seco y con ventilación (sin carga nueva) parece una composta muy fértil, sin malos olores, el post-tratamiento con lombrices se puede utilizar para garantizar mejor su calidad. No es recomendable reutilizar este compost para verduras que se comen crudas debido a la carga patogénica. Cada semana se debe colocar un poco de paja en el filtro activo. La operación de instalaciones sanitarias descentralizadas es el mayor problema en países, donde el tratamiento de aguas residuales no es parte de la cultura actual.

Los retretes secos con separadores de orina además de estar constituido de inodoros cuentan con un lavadero y una tubo de ventilación. Cuentan con 2 cámaras de la cual el volumen recomendable de llenado es de 210 litros.

La inversión del las instalaciones de tratamiento mediante filtros de compostaje llegó a 4,000 Nuevos Soles (aprox 1600 US dólares)

El tiempo de adaptación a estas nuevas instalaciones mediante orientaciones y ayuda técnica se realizó en un año aproximadamente (Hoffmann H, 2008).

4 CONCLUSIONES GENERALES

Las limitaciones de la disponibilidad del recurso en el Perú y el mundo han determinado en buscar una alternativa frente a los sistemas tradicionales convencionales de saneamiento, un concepto innovador que se ha desarrollado en los últimos años a nivel global es el saneamiento ecológico (conocido como ECOSAN). No obstante desde el punto de vista de salud pública es muy importante resaltar la protección de las personas que manipulan las heces "secas" o realizan las labores de limpieza. Ellas deben de llevar las vestimentas de protección personal para evitar la transmisión de enfermedades hídricas que dependiendo de la vulnerabilidad de la persona puede incluso causar la muerte.

Por otra parte en muchas de las opciones escritas en el presente documento se indica que es posible el reuso de las heces como mejorador de suelos. Esto es posible siempre que se garantice que no existe la presencia de patógenos en la población (que finalmente estarán presentes en las heces de las personas aportantes), lo que conlleva a trabajar de la mano con los cuadros estadísticos de la salud de las personas de la localidad donde se utilicen sistemas no convencionales.

Finalmente en todos los casos es necesario que la supervisión de la aplicación de cualquiera de las tecnologías presentadas en este documento, sea realizada por un especialista en ingeniería sanitaria y/o ambiental a fin de preveer los riesgos y tomar las medidas de prevención que conlleven al éxito del proyecto y por encima de todo la salud de los habitantes.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Arévalo Correa C. (2001) Sistemas Condominiales de Alcantarillado Sanitario. Guía de Procedimientos. Programa de Agua y Saneamiento.
- [2]. Calizaya J.C & Gauss M. (2006) Saneamiento Ecológico. Lecciones aprendidas en zonas periurbanas de Lima. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe (WSP – LAC). Lima, Perú.
- [3]. Esrey S, Gough J, Rapaport D, Sawyer R, Simpson-Hébert M & Vargas J. (1999) Saneamiento ecológico. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo/Fundación Friedrich Ebert-México.
- [4]. Feachem R.G, Bradley, D.J, Garelick, H. & Mara D.D. (1983) Sanitation and Disease-Health aspects of excreta and wastewater management. John Wiley and Sons, Chichester, UK
- [5]. Hoffmann H. (2008) Ejemplo para un saneamiento ecoeficiente con reúso total de efluentes y biosólidos tratados, aplicado en el Colegio San Christoforus. PERUSAN: Saneamiento Ecoeficiente, Lima. Rotaría del Perú.
- [6]. IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2008) Documento IV. El Cambio Climático y el Agua. OMM. PNUMA.
- [7]. Martín W. (2009) Uso racional del agua" Tesis de Maestría en Eficiencia Energética. Cuba, Universidad Cienfuegos.
- [8]. Melo, J.C. (2005) The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil, case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas. Brasil
- [9]. Organización Panamericana de la Salud OPS (2005) Guía de Diseño de Letrina con arrastre Hidráulico y Letrina de Pozo anegado. Área de Desarrollo Sostenible y salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud, y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. Lima, Perú.
- [10]. Otterpohl (2007) Ecological Sanitation: high-, medium and low-tech solutions. Institute of Wastewater Management and Water Protection. Hamburg University of Technology. (Documento para las clases)
- [11]. Oswald P & Hoffmann H. (2007) Results of an evaluation of ecological sanitation projects in the peri-urban settlements. International Conference on Sustainable Sanitation: Food and Water Security for Latin America. Rotaría del Perú SAC. Lima, Perú.
- [12]. Peralta E. (2007) ECOSAN" (Ecological Sanitation): Una nueva alternativa ecológica para el saneamiento. Ingeniería sanitaria y ambiental (Buenos Aires). CARIS-INA. AIDIS, Argentina.
- [13]. Platzer C & Hoffmann H. (2008) ECOSAN - Experiências práticas da aplicação do ponto de vista de uma empresa privada de Saneamento. Rotaria do Brasil.
- [14]. Roman A, Winker M, Tetenbron F, & Ottopohl R. (2007) Saneamiento para el futuro: Nuevas perspectivas para el desarrollo de las ciudades. Instituto de Manejo de Aguas Residuales y Protección del Agua. Universidad Tecnológica de Hamburgo-Harburg, Alemania.
- [15]. Schlick J. & Werner C. (2001) ECOSAN - Introduction of closed-loop approaches in wastewater –ECOSAN. Management and Sanitation – A new supra-regional GTZ – Project. Agencia para la Cooperación Técnica. International Conference on Freshwater, Bonn.

- [16]. Schönning C. & Stenström T. (2004)Lineamientos para el uso Seguro de la orina y de las heces en sistemas de saneamiento ecológico. Instituto Sueco de Control de Enfermedades Infecciosas (SMI). ECOSANRES. Instituto Ambiental de Estocolmo, Suecia.
- [17]. Tilley E, Lüthi C, Morel A, Zurbrügg C & Schertenleib R. (2011) Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Consorcio NETSSAF, el programa GTZ ECOSAN, la Sustainable Sanitation Alliance (SuSana), y la Alianza por el Agua España & Centroamérica.