

Serie de Publicaciones de EcoSanRes



Reporte 2004-1

**Lineamientos para el Uso Seguro de
la Orina y de las Heces
en Sistemas de Saneamiento Ecológico**

Caroline Schönning y Thor Axel Stenström



Lineamientos para el Uso Seguro de la Orina y de las Heces en Sistemas de Saneamiento Ecológico

Caroline Schönning y Thor Axel Stenström
Instituto Sueco de Control de Enfermedades Infecciosas (SMI)



Programa EcoSanRes
Instituto Ambiental de Estocolmo
Lilla Nygatan 1
Box 2142
SE-103 14 Estocolmo, Suecia
Telf.: +46 8 412 1400
Fax: +46 8 723 0348
postmaster@sei.se
www.sei.se

Esta publicación puede ser descargada de
www.ecosanres.org

SEI Comunicaciones
Director de Comunicación: Arno Rosemarin
Director de Publicaciones: Erik Willis
Diseño: Lisetta Tripodi
Acceso Web: Howard Cambridge
Traducción: Jenny Aragundy, ECOSANLAC

*Derechos de autor 2004
del Programa EcoSanRes
y del Instituto Ambiental de Estocolmo*

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente en cualquier medio educativo o sin fines comerciales, sin requerimiento de autorización especial de los autores, siempre y cuando se cite la fuente. No se permite el uso de esta publicación para la venta u otro fin comercial, sin el consentimiento escrito de los autores.

ISBN 91 88714 93 4

Contenido

Introducción – uso de la excreta	1
Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta	2
Patógenos en la orina	3
Riesgo de transmisión de enfermedades a través de la orina	5
Patógenos en las heces	5
Rutas de transmisión ambientales	8
Barreras para disminuir/minimizar la exposición	11
Reglamentos y lineamientos en relación a los riesgos	13
Tratamientos para higienizar la excreta	14
Factores que influyen la mortalidad de los patógenos	14
Tratamiento de la orina	16
Almacenamiento	16
Otros tratamientos posibles	19
Tratamiento de las heces	20
Almacenamiento	20
Tratamiento con calor	24
Compostaje	26
Tratamientos alcalinos	27
Adición de ceniza y cal	27
Adición de urea	30
Incineración	31
Conclusión	31
El uso probable de indicadores del tratamiento	32
Recomendaciones prácticas en relación al uso agrícola	34
Orina	34
Heces	34
Uso alternativo de la orina	35
Uso alternativo de las heces	35
Acuicultura	36
Necesidades observadas de mayor investigación – vacíos en el conocimiento	37
Necesidades observadas de adaptar los lineamientos a las condiciones locales	37
Recomendaciones finales	39
Inodoros de saneamiento ecológico - general	39
Tratamiento y uso de la orina	39
Tratamiento y uso de las heces	40
Aspectos prácticos	41
Referencias	42

Introducción – uso de la excreta

El uso de las aguas residuales se practica actualmente en varias regiones del mundo. Existen varias razones que lo impulsan. La escasez del agua y el continuo crecimiento de la población, especialmente en áreas urbanas, ha forzado un desarrollo hacia la sobre utilización de los escasos recursos hídricos y los recursos de fertilización para cultivos. Un uso futuro mayor de la excreta está dado por la percatación de su valioso contenido de nutrientes para las plantas. La excreta humana puede contener también microorganismos patógenos, que directamente o al ser diluidos en las aguas residuales constituyen una amenaza para la salud humana. La diarrea y las enfermedades parasitarias son importantes factores que contribuyen con la Carga Mundial de Morbilidad (GBD por sus siglas en inglés), donde la transmisión ambiental a través del agua y de los cultivos alimenticios contaminados o mediante el contacto directo con las fuentes contaminadas por materia fecal son los mayores contribuidores.

El uso directo de la excreta, heces y orina humana, da como resultado el uso benéfico de los nutrientes en la agricultura. Estos productos usualmente no contienen contaminantes químicos industriales que podrían impedir el reuso de las aguas residuales municipales, pero deben ser tratados para reducir los niveles de patógenos a un nivel seguro. Metabolitos humanos como las hormonas podrían existir, pero el reuso en tierras cultivables disminuirá el impacto negativo en las fuentes de agua. Desde una perspectiva de higiene, tanto el uso de las aguas residuales como de la excreta reducirán los riesgos de exposición al agente patógeno, si el tratamiento y otras barreras contra la exposición son consideradas. En contraste, el riesgo puede aumentar, por las prácticas inadecuadas de manejo de la cadena de excreta, y por un tratamiento inapropiado y el uso de las aguas residuales, así como la exposición indeterminada.

Un marco para el control de la exposición microbiana y de gestión en relación al uso de aguas residuales y excretas fue elaborado y publicado por la OMS en los ochentas (OMS, 1989). Estos lineamientos están actualmente bajo revisión, y los nuevos lineamientos se esperan para el 2005, tratando por separado el uso de aguas residuales y de excretas. Dentro de este reporte de EcoSanRes nos enfocaremos en el tratamiento y manejo de las heces y de la orina, tomando en cuenta la información actual de la gestión de riesgos y ciñéndonos a una estrategia de separación en la fuente.

En muchas partes del mundo es una tradición mantener la orina y las heces separadas. La antigua práctica japonesa de la recuperación de los excrementos humanos de las áreas urbanas separó la orina y las heces, considerando la orina como un fertilizante valioso (Matsui, 1997). En Suecia la orina se recolectó históricamente por separado. Principalmente debido a razones prácticas, era vertida en el drenaje para evitar malos olores y para prevenir que la letrina se llenara muy rápido (Sondén, 1889). Existen algunos beneficios de mantener las fracciones separadas que aún son válidos y pueden ser pulidos en los sistemas actuales de saneamiento ecológico. Estos incluyen:

- **Reducción de volumen** – el sistema de recolección se llenará más lentamente si la orina es desviada y el volumen de materia fecal se mantendrá pequeño. Una mayor reducción del volumen y del peso de las heces es posible a través de la deshidratación y/o descomposición.
- **Reduciendo el mal olor** – el mal olor será menor si se mantiene la orina y las heces separadas y esto resultará en un uso del inodoro y manejo de la excreta más conveniente y aceptable.

- **Prevención de la dispersión de materiales que contienen patógenos** – una fracción fecal seca causará menos riesgo por lixiviados y transporte de patógenos a través de fluidos a las aguas subterráneas y al medio ambiente circundante.
- **Manejo y uso más seguros y fáciles de la excreta** – las heces estarán más secas, lo cual beneficiará la reducción de patógenos. Adicionalmente, el secado facilitará una futura reducción de patógenos por otros medios de tratamiento y hará más fácil el manejo y el uso de las fracciones separadas de orina y heces.

Estos beneficios prácticos e higiénicos de mantener la orina y las heces separadas han llevado a la conclusión de que deberíamos optar por la desviación de orina en todos los sistemas de saneamiento secos. Sería beneficioso también complementar los sistemas de saneamiento que funcionan con agua con desviación de orina para permitir el uso de la orina como fertilizante y reducir los efectos ambientales de los nutrientes descargados por el inodoro, específicamente la eutrofización. Por tanto los sistemas de desviación en la fuente han sido identificados como parte del desarrollo sustentable, llevándose a cabo una investigación extensa en varios países, entre los cuales Suecia ha sido uno de los pioneros.

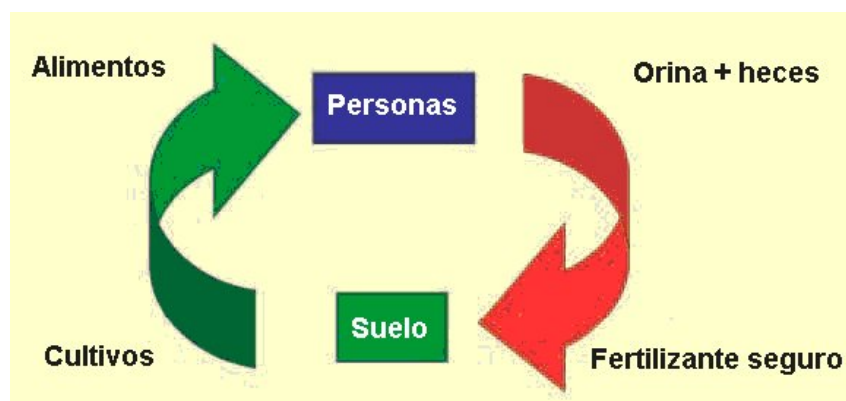


Figura 1. El concepto del saneamiento ecológico – mediante la obtención de fertilizantes seguros de la orina y excreta, es posible cerrar el ciclo de los nutrientes.

Un aspecto importante es que el uso de la excreta no debe resultar en una mayor transmisión de enfermedades y en un mayor número de infecciones en las poblaciones humanas. Los actuales Lineamientos de EcoSanRes para el manejo y uso de la orina y heces recolectadas, por lo tanto buscan minimizar el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas que potencialmente puede ocurrir a través de la orina y/o heces.

Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta

La presencia de los organismos causantes de enfermedades en la excreta humana es el resultado de la infección en los individuos. Este tipo de infecciones no se manifiestan necesariamente con síntomas clínicos, pero pueden conducir a una excreción de los patógenos en cuestión. Para los organismos que infectan el tracto gastrointestinal, esta excreción es básicamente a través de las heces.

La prevalencia de infecciones es un espejo de la situación higiénica en la sociedad. Las infecciones son siempre una excepción y no un estado general en un individuo. Las infecciones

en los individuos podrían, en muy pocos casos, ser crónicas, para enfermedades bacterianas y virales. Los individuos en este caso se denominan “portadores”. Gusanos parásitos (helmintos) pueden establecerse por períodos prolongados de tiempo en el cuerpo humano y tener una alta tasa de prevalencia en sociedades con condiciones insalubres.

Un individuo normalmente excretará grandes cantidades de microorganismos en la materia fecal. Los números están en el rango de 10^{11} - 10^{13} /g. Estos organismos saprofiticos generalmente no son de preocupación para la salud. La orina es normalmente estéril en la vejiga, pero puede tomar organismos que se encuentran en las partes bajas del tracto urinario. Así, un contenido de 10^3 organismos/ml en la orina no es un indicativo de una infección. Los organismos saprofiticos son usualmente inofensivos.

Si un organismo que causa una enfermedad infecta a una persona, las manifestaciones clínicas son gobernadas por factores relacionados con el organismo en cuestión y por factores relacionados con el individuo infectado. La mayoría de los organismos causantes de enfermedades de cuidado son excretados, en una cantidad variable, en las heces, pero pocos de ellos también a través de la orina. La probabilidad de que ellos infecten a nuevos individuos está en función del contacto y de la exposición. Esto a su vez se rige por factores como las cantidades excretadas y la dosis infecciosa (número de organismos que deben ser ingeridos de manera oral para causar una infección), que varía entre los diferentes organismos e incluso entre las variedades. Pocos tipos de organismos podrían infectar también a través de la piel. La probabilidad de contacto y exposición está regida por la habilidad de las diferentes especies y variedades a tolerar condiciones ambientales adversas fuera del cuerpo humano y persistir en la etapa en la cual pueden infectar a un nuevo individuo expuesto.

Estos factores son tratados en este texto, empezando con un resumen de los organismos causantes de enfermedades que podrían estar presentes en la orina y las heces. Puesto que la prevalencia de esta ocurrencia puede variar debido a condiciones sanitarias imperantes en diferentes regiones del mundo, ellos se presentan aquí en términos generales. Esto se justifica de igual manera por el hecho de que la prevalencia y riesgos posteriores pueden variar dentro de diversas áreas, entre la situación normal de fondo, de la situación endémica para un organismo y de la situación de alto riesgo durante las epidemias.

PATÓGENOS EN LA ORINA

Algunos tipos de bacteria pueden causar infecciones del tracto urinario. La transmisión ambiental de estos es generalmente de baja importancia. *E-coli* es la causa más común de las infecciones del tracto urinario, donde ciertos clones también pueden estar asociados con las infecciones gastrointestinales.

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 (Tabla 1).

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 (tropicales) en desarrollo. La orina humana no está considerada como una fuente importante de transmisión debido a la baja prevalencia (Feachem *et al.*, 1983; CDC, 2003a).

S. typhi y *S. paratyphi* son excretadas en la orina únicamente durante la fase de la fiebre tifoidea y fiebre paratifoidea cuando las bacterias son diseminadas en el torrente sanguíneo. Estos organismos son raros en los países desarrollados. A pesar de que la infección es endémica en algunos países en vías de desarrollo con una cifra estimada de 12,5 millones de casos por año, la transmisión orina-oral es probablemente poco común en comparación con la transición fecal-oral (Feachem *et al.*, 1983; CDC, 2003b). Para la orina desviada, el riesgo de transmisión de *Salmonella* será bajo, inclusive con períodos cortos de almacenamiento, debido a la rápida inactivación de las bacterias fecales Gram-negativas (Tabla 5; Höglund, 2001). La tasa de decrecimiento de la *Salmonella spp* es similar a la del *E-coli* en la orina recolectada.

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 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. Existe también un foco de enfermedad definido de *S. haematobium* en India (OMS, 2003).

Tabla 1. 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 períodos significativos fuera del cuerpo	-
Infecciones del tracto urinario	No, no hay una transmisión ambiental directa	Bajo

Los riesgos principales del uso de la excreta están relacionados con la fracción fecal y no con la fracción de orina. Por esto, es muy importante evitar o minimizar la contaminación fecal cruzada a la fracción de orina. A pesar de que algunos patógenos pueden ser excretados en la orina, la contaminación fecal cruzada que puede ocurrir por la disposición errada de las heces en el inodoro desviador de orina (Schönning *et al.*, 2002), está relacionada con el riesgo más significativo para la salud (Höglund *et al.*, 2002).

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.

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 diferentes 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. Esto es en parte el caso en los países en desarrollo, donde los brotes de cólera, tifoidea y shigelosis son de las principales preocupaciones y parecen ser más frecuentes en zonas urbanas y periurbanas (S. Brian, OMS, com. pers., 2003). Los virus entéricos son también de importancia general y son ahora considerados la mayor causa de infecciones gastrointestinales en regiones industrializadas (Svensson, 2000).



Figura 2. La contaminación fecal cruzada de la orina constituye el mayor riesgo para la salud en el manejo posterior de esta fracción. Es necesario que los inodoros estén adaptados para el usuario y el sistema. Un inodoro de pedestal será más riesgoso si la práctica general es hacer las necesidades de cuclillas. El asiento deberá ser adaptado para el usuario. En las escuelas, una colección delantera grande para la orina dará lugar a problemas de desplazamiento.

Más de 120 diferentes tipos de virus pueden ser excretados por las heces, siendo los grupos más comunes los de enterovirus, rotavirus, adenovirus entéricos y calicivirus humanos (norovirus) (Tauxe & Cohen, 1995). La Hepatitis A es considerada como un virus patógeno de gran preocupación cuando se aplica los desechos a la tierra y es catalogado como un riesgo para brotes de enfermedades relacionados con el agua y los alimentos, especialmente donde las normas de sanidad son bajas. La importancia de la Hepatitis E está creciendo.

Entre las bacterias, por lo menos la *Salmonella*, la *Campylobacter* y la *E-coli* enterohemorrágica (EHEC) son generalmente de importancia, tanto en países industrializados como en desarrollo, cuando se evalúa los riesgos microbianos de varios productos fertilizantes incluidas las heces, los lodos residuales y el estiércol animal. También son importantes como agentes zoonóticos (transmisión entre humanos y animales, así como sus heces y estiércol). En áreas con insuficiente saneamiento, la fiebre tifoidea (*Salmonella typhi*) y el cólera (*Vibrio cholera*) constituyen los riesgos principales en relación a un inadecuado saneamiento y a la contaminación del agua. *Shigella* es una causa común de diarrea en los países en desarrollo, especialmente en zonas donde la higiene y el saneamiento son deficientes.

Los protozoarios, *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia/intestinalis* han sido estudiados intensamente durante la última década, parcialmente debido a su alta resistencia ambiental y bajas dosis infecciosas, el *Cryptosporidium* por su asociación con algunos brotes grandes de enfermedades relacionadas con el agua, y la *Giardia* por su alta prevalencia como patógeno entérico. La *Entamoeba histolytica* es también reconocida como una infección de cuidado en países en desarrollo. La importancia general de otros como la *Cyclospora* y *Isospora* está siendo debatida actualmente.

En los países en desarrollo, las infecciones por los helmintos son de gran preocupación. Los huevos (óvulos) especialmente de *Ascaris* y *Taenia* son muy persistentes en el ambiente y por eso se los considera como un indicador de la calidad higiénica (OMS, 1989). La

Anquilostomiasis es generalizada en zonas tropicales y subtropicales húmedas, y afecta a casi mil millones de personas en todo el mundo. En las naciones en desarrollo, estas infecciones exageran la desnutrición e indirectamente causan la muerte de muchos niños incrementando su vulnerabilidad a otras infecciones que normalmente podrían ser toleradas. Los huevos inefectivos de los *Ascaris* y anquilostomas que son excretados en las heces requieren un período de latencia y condiciones favorables en el suelo o heces depositadas para que eclosionen en larvas y se conviertan en infecciosos (CDC, 2003).

Schistosoma haematobium fue mencionado antes en relación con la excreción con la orina. Otros tipos de *Schistosoma*, por ejemplo *S. japonicum* y *S. mansoni* son excretados en las heces. *S. japonicum* es principalmente prevalente en el Lejano Oriente y *S. mansoni* en África y otras partes de América del Sur y Central, principalmente en Brasil (OMS, 2003). Más de 20 millones de personas están actualmente infectadas con esquistosomiasis. El uso de las heces, con respecto al de la orina, no debería tener un impacto a menos de que la materia fecal fresca y no tratada sea aplicada cerca de las fuentes de agua dulce donde el caracol está presente.

Los patógenos de cuidado por la transmisión ambiental a través de las heces causan principalmente síntomas gastrointestinales como diarrea, vómito y dolores de estómago. Algunos podrían causar síntomas que envuelvan otros órganos y secuelas severas. La Tabla 2 muestra un listado de una serie de agentes patógenos de preocupación y sus síntomas.

Tabla 2. Ejemplo de patógenos que pueden ser excretados en las heces (pueden ser transmitidos a través del agua y de un saneamiento inadecuado) y enfermedades relacionadas, incluye ejemplos de los síntomas que ellos pueden causar (adaptado de CDC, 2003c; Ottosson, 2003 y SMI, 2003)

Grupo	Patógeno	Enfermedad – Síntomas
Bacteria	<i>Aeromonas</i> spp.	Enteritis
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campilobacteriosis - diarrea, calambres, dolor abdominal, fiebre, náuseas, artritis, síndrome de Guillain-Barré
	<i>Escherichia coli</i> (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Enteritis
	<i>Pleisiomonas shigelloides</i>	Enteritis
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Varios; bacteriemia, infecciones de la piel, otitis, meningitis, neumonía
	<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Fiebre tifoidea y fiebre paratifoidea - dolor de cabeza, fiebre, malestar general, anorexia, bradicardia, esplenomegalia, tos
	<i>Salmonella</i> spp.	Salmonelosis - diarrea, fiebre, calambres abdominales
	<i>Shigella</i> spp.	Shigelosis - disentería (diarrea sanguinolenta), vómitos, calambres, fiebre, síndrome de Reiter
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera - diarrea acuosa, grave y mortal si no reciben tratamiento
	<i>Yersinia</i> spp.	Yersinioses - fiebre, dolor abdominal, diarrea, dolores en las articulaciones, erupción
Virus	Adenovirus	Varios; enfermedad respiratoria. Aquí añadido debido a los tipos entéricos (véase más abajo)
	Enteric adenovirus 40 y 41	Enteritis
	Astrovirus	Enteritis
	Calicivirus (incl. Noroviruses)	Enteritis

Coxsackievirus	Varios; enfermedad respiratoria; enteritis; meningitis viral
Echovirus	Meningitis aséptica; encefalitis; a menudo asintomático
Enterovirus tipos 68-71	Meningitis; encefalitis; parálisis
Hepatitis A	Hepatitis - fiebre, malestar general, anorexia, náuseas, molestias abdominales, ictericia
Hepatitis E	Hepatitis
Poliovirus	Poliomielitis - a menudo asintomática, fiebre, náuseas, vómitos, dolor de cabeza, parálisis
Rotavirus	Enteritis
Protozoarios	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Criptosporidiosis - diarrea acuosa, cólicos abdominales y dolor
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	A menudo asintomático; diarrea; dolor abdominal
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis - A menudo asintomática, la disentería, malestar abdominal, fiebre, escalofríos
<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiasis - diarrea, calambres abdominales, malestar, pérdida de peso
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	En general, pocos o ningún síntoma; sibilancias, tos, fiebre, enteritis; eosinofilia pulmonar
<i>Taenia solium/saginata</i>	
<i>Trichuris trichiura</i>	Imperceptible a vaga molestia del tracto digestivo a emaciación con piel seca y diarrea
Anquilostomas	Picazón, erupción, tos, anemia, deficiencia de proteínas
Shistosomiasis spp.	

Rutas de transmisión ambientales

Los patógenos de cuidado en los sistemas de saneamiento son generalmente transmitidos a través de la ruta fecal-oral, es decir, los patógenos son excretados en las heces e infectan otra persona por ingestión. Los patógenos pueden ser transmitidos vía manos, a la comida o agua y otros fluidos (Figura 3).

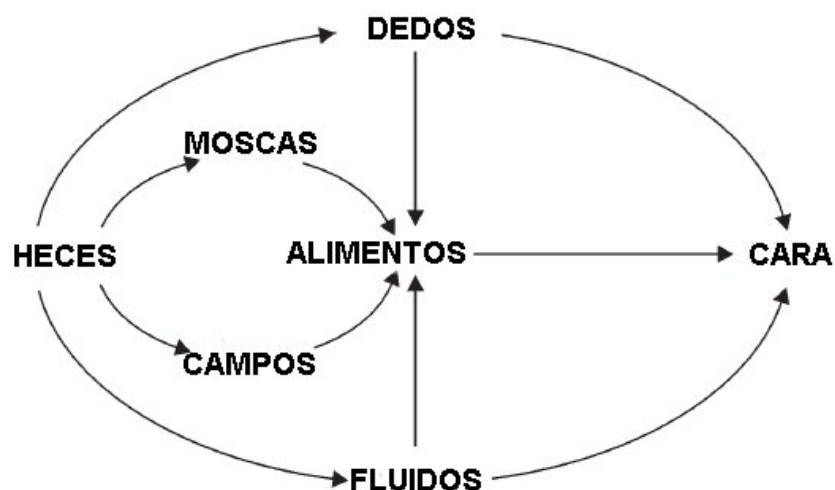


Figura 3. Las rutas de transmisión de los patógenos entéricos, resumidas en el diagrama, adaptado por Esrey et al. (1998).

Algunos helmintos, así como la bacteria *Leptospira* también pueden infectar a través de la piel.

Para los sistemas de saneamiento de agua, las aguas residuales son una fuente potencial importante de ruta de transmisión cuando aguas residuales más o menos tratadas son descargadas en un curso de agua o usadas en un área cultivable. Los inodoros secos tienen menos probabilidades de afectar las aguas superficiales o subterráneas. Este puede ser el caso si son construidos o localizados indebidamente. Para letrinas excavadas, como letrinas de fosa, se han identificado problemas con el transporte de patógenos de la excreta a las aguas subterráneas en áreas con altos niveles freáticos, o debido a las características del suelo que pueden favorecer el transporte microbiano. Elevar el inodoro y recolectar la excreta sobre el suelo como se sugiere en la mayoría de sistemas de saneamiento ecológico puede en general evitar esto. Pozos superficiales son una alternativa intermedia y restringen la contaminación de aguas subterráneas. La construcción debe tomar en cuenta las inundaciones durante fuertes lluvias que podrían resultar en escorrentía a las aguas superficiales de los alrededores. Las letrinas nunca deben ser vaciadas en los canales de drenaje superficial. Desde un punto de vista higiénico, es preferible un inodoro con una cámara de recolección sellada sobre la superficie.



Figura 4. Los materiales de las letrinas de fosa ordinarias o letrinas secas no deben ser nunca excavados y depositados en los canales de drenaje. El riesgo principal de transmisión de enfermedades entéricas y parasitarias es la exposición humana a la contaminación fecal en los drenajes de agua lluvia.

En la Tabla 3 se listan las posibles rutas de exposición y de transmisión relacionadas con los inodoros secos junto con estas se enumeran algunas medidas a ser consideradas para evitar la exposición. No se explican las rutas de exposición posteriores por una superficie contaminada o por las aguas subterráneas. Por el contrario, las medidas listadas buscan prevenir o minimizar la contaminación fecal de los cursos de agua y del ambiente. Es importante eliminar los patógenos lo antes posible en la cadena de manejo ya que de esta manera reducen los riesgos en los siguientes pasos.

El contacto directo se refiere a un contacto intencionado o no con la excreta, por ejemplo tocando el material y luego accidentalmente ingiriéndolo de los dedos contaminados o utensilios. Esto puede ocurrir antes del tratamiento, durante el tratamiento, incluido el manejo o cuando el material es usado o aplicado en el suelo. La contaminación de los productos alimenticios puede ocurrir directamente de la aplicación pero también a través de prácticas insalubres en la cocina. A pesar de que el cultivo fertilizado vaya a ser cocido antes del consumo las superficies pueden estar contaminadas y los patógenos ser transferidos a otros alimentos o líquidos.

Tabla 3. Rutas de transmisión potenciales relacionadas con los inodoros secos y el uso de la excreta con medidas técnicas y de comportamiento sencillas para restringir la exposición y minimizar los riesgos.

Área o procedimiento que de lugar a la exposición de patógenos	Rutas de transmisión	Medidas técnicas	Medidas de comportamiento
Inodoro	Contacto directo; transporte a las aguas subterráneas; contaminación ambiental	Agua disponible para el lavado de manos; cámara de recolección elevada; cámaras de recolección impermeabilizadas (no filtración a las aguas subterráneas o al ambiente)	Lavado de manos; mantener el área del inodoro limpia

Manejo primario – recolección y transporte	Contacto directo	Cenizas, cal u otro medio para reducir los microorganismos en el inodoro; personas informadas recolectan y transportan la excreta	Usar guantes; lavado de manos; adición de cenizas, cal u otro medio para reducir el contenido microbiano durante el uso
Tratamiento	Contacto directo; contaminación ambiental	Elección adecuada de la ubicación; tratamiento en sistemas cerrados; material informativo y señalización en el sitio	Usar guantes y ropa protectora; lavado de manos; evitar el contacto en las zonas de tratamiento
Manejo secundario – aplicación, fertilización	Contacto directo	Agricultores informados reusan la excreta; equipo especial disponible	Usar guantes; lavado de manos; lavado del equipo usado
Campo fertilizado	Contacto directo; transporte a las aguas superficiales o subterráneas	Trabajando con la excreta dentro de la tierra; material informativo y señalización	Evitar campos recién fertilizados
Cultivo fertilizado	Consumo; contaminación de la cocina	Elección del cultivo adecuado	Apropiada preparación y cocción de los productos alimenticios; limpieza de las superficies de la cocina y de los utensilios

BARRERAS PARA DISMINUIR/MINIMIZAR LA EXPOSICIÓN

Todas las medidas de la Tabla 3 funcionan como barreras técnicas o de comportamiento contra la transmisión de enfermedades. Un estudio sistemático de un sistema local puede identificar los factores de riesgo potenciales y sugerir medidas de acción para evitar la exposición a los agentes patógenos. Esto puede ser mediante una reducción del contacto con el material o a través de la introducción de medios de reducción del número (concentración) de los patógenos en el material que debe ser manipulado. Reducir el contacto incluye factores como sistemas cerrados, el uso de equipo de protección personal, el uso de herramientas de manipulación adecuadas y la reducción del contacto posterior en el campo trabajando con la excreta dentro del suelo. Las precauciones de manipulación general son a menudo definidas como medidas adicionales y no como barreras propiamente dichas.

Las diferentes etapas de tratamiento de la excreta son las barreras obvias para reducir el número de patógenos, lo que hace “el producto” más seguro de manejar y de ser usado como fertilizante. En los lineamientos actuales de la OMS, el tratamiento es, sin embargo, considerado innecesario cuando las otras barreras son satisfechas, incluyendo por ejemplo una adecuada protección de los agricultores y trabajadores sanitarios, cubriendo los desperdicios con 25 cm de suelo y no plantando tubérculos (OMS, 1989). Estos lineamientos están siendo revisados actualmente y un conjunto de tres nuevos volúmenes, que tratan sobre el uso de las aguas residuales y la excreta en la acuicultura; el uso de las aguas residuales en la agricultura y el uso de la excreta y aguas grises, se prevé que se publicará en el 2005.



Figura 5. La defecación a campo abierto es la mayor ruta de contaminación de enfermedades entéricas y parasitarias. Otros individuos y el medio ambiente pueden ser afectados a través del contacto directo y también por caminar descalzos. Adicionalmente, las fuentes de agua superficial pueden ser altamente impactadas.

El tratamiento puede ser primario, esto es, directamente en el inodoro en relación con la defecación, por ejemplo mediante la adición de cenizas (descrito a continuación), o secundario cuando el material es recogido del inodoro (o dejado en el inodoro sin la adición adicional de heces) y se trata de una forma controlada para reducir los patógenos a límites aceptables. Esrey *et al.* (1998) aseveró que una combinación de un almacenamiento seguro y una rápida destrucción de los patógenos en la excreta es necesaria para prevenir la contaminación del ambiente. Las barreras se muestran en el siguiente diagrama (Figura 6).

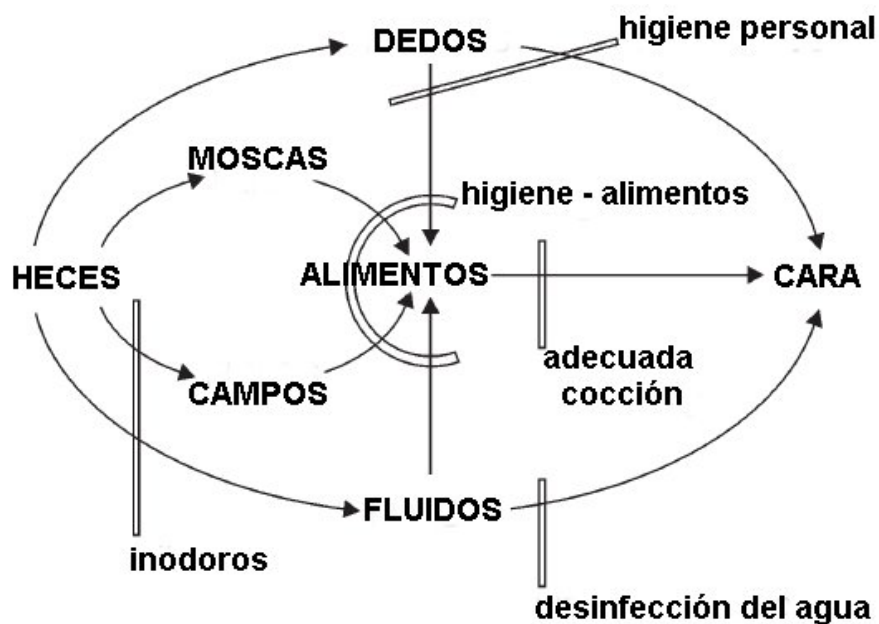


Figura 6. Barreras requeridas para prevenir la transmisión de enfermedades y diseminación de patógenos, adaptado de Esrey *et al.* (1998).

La inactivación de patógenos ocurrirá también en tierras agrícolas después de la aplicación de la excreta como fertilizante y en los cultivos que podrían haberse contaminado durante la fertilización, durante la etapa de crecimiento, o por salpicaduras del suelo durante fuertes lluvias. Esta inactivación con el tiempo y debido a condiciones ambientales predominantes puede proveer una barrera en contra de la exposición por el manejo y el consumo de los cultivos y para personas y animales que posiblemente entren en el campo fertilizado. La inactivación depende de la temperatura ambiental, de la humedad y de la radiación solar (que incrementará la temperatura, reducirá la humedad y afectará a los patógenos con los rayos ultra violeta) (véase la Tabla 4). En el suelo, los microorganismos que lo habitan naturalmente, competirán con los patógenos introducidos incrementando su decrecimiento. La reducción adicional con el tiempo, la cual constituye una “barrera en la agricultura” es de gran importancia, especialmente para los cultivos de consumo crudo. Para el manejo seguro de otros cultivos y para reducir la contaminación cruzada durante la preparación de alimentos, el período de reposo (tiempo entre la fertilización y la cosecha) es de suma importancia.

En la literatura, las enfermedades relacionadas con la excreta han sido divididas en dos grupos, dependiendo de sus características en cuanto a la transmisión, tiempo de supervivencia, etc. (OMS, 1989; Feachem, *et al.*, 1983). Junto con esta información, se dan las principales medidas de control. Estas medidas generales incluyen a menudo una combinación de mejoras en el hogar, educación para la salud, abastecimiento de agua, dotación de inodoros y tratamiento de la excreta antes de ser usada o descargada. Independientemente del tipo de inodoros proveídos, las intervenciones incluyendo los sistemas de agua y saneamiento, son por tanto importantes para mejorar la situación sanitaria.

Reglamentos y lineamientos en relación a los riesgos

Las heces humanas pueden contener patógenos y, en los países en desarrollo, la prevalencia de individuos con enfermedades entéricas y parasitarias es a menudo alta dando como resultado una alta probabilidad y mayores concentraciones de patógenos en la materia fecal. Algunos de los patógenos tienen la capacidad de sobrevivir durante un largo período de tiempo en la excreta pudiendo terminar en los campos agrícolas y en los cultivos, si el uso de la materia fecal es practicado sin un adecuado tratamiento. A pesar de que una serie de eventos posteriores deben ocurrir antes de que una infección en un nuevo huésped ocurra, el riesgo de transmisión adicional en el ambiente y un aumento de la prevalencia de la enfermedad son evidentes si se usa heces no higienizadas. Las diferentes etapas de tratamiento posterior de la excreta humana son consideradas por ende las medidas más importantes contra la transmisión.

Los reglamentos y lineamientos se basan con más frecuencia en el concepto de riesgo. Mediante la aplicación de evaluaciones de riesgo microbiológico cuantitativo, basados en parte en hipótesis, los sistemas de saneamiento pueden ser evaluados y comparados para establecer límites de riesgos aceptables. El tratamiento también puede ser adaptado para alcanzar los límites aceptables. Se puede evaluar extensivamente el riesgo de un sitio específico, dependiendo de la información en relación al estado de salud local de la población y los patrones de comportamiento, por ejemplo. Un incremento de la prevalencia de infecciones permite establecer límites locales aceptables de riesgo, aplicables a sistemas de saneamiento donde se practica el uso de la excreta en productos. En los países en desarrollo con bajos

estándares sanitarios, la meta será reducir el número de infecciones mediante la implementación de saneamiento en sí incluyendo la introducción de nuevas alternativas, combinadas con otras intervenciones relacionadas con el suministro de agua potable, tratamiento y almacenamiento seguros y educación para la salud e higiene.

En relación a los presentes lineamientos y a las recomendaciones para el saneamiento ecológico, la atención se centra en el tratamiento, pero también incluye otros aspectos técnicos, prácticos y de comportamiento, previstos para reducir al mínimo el riesgo de transmisión de enfermedades. Se dan también reglas generales para obtener riesgos bajos aceptables, sin embargo, estas no definen límites numéricos.

El tratamiento como una barrera

Una combinación de barreras para reducir la exposición de las personas a la excreta debe ser aplicada para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades en los sistemas de saneamiento ecológico. El tratamiento de la excreta es considerado como un paso necesario para el uso posterior como fertilizante en la agricultura.

Tratamientos para higienizar la excreta

FACTORES QUE INFLUENCIAN LA MORTANDAD PERIÓDICA DE LOS PATÓGENOS

Después de la excreción, la concentración de los patógenos entéricos usualmente disminuye con el tiempo por la muerte o pérdida de poder infeccioso de la cantidad de los organismos. Los protozoos y los virus no son capaces de desarrollarse en el ambiente fuera del huésped, por lo que su número siempre decrecerá, mientras que las bacterias pueden multiplicarse bajo condiciones ambientales favorables. Los helmintos pueden necesitar un período de latencia después de la excreción antes de ser infecciosos. La habilidad de los microorganismos para sobrevivir en el ambiente está definida por su persistencia a tolerar las condiciones predominantes. A menudo en las investigaciones se expresa como la inactivación total con el tiempo del microorganismo en cuestión bajo condiciones ambientales específicas. Sin embargo, para las predicciones de riesgo para la salud del impacto de diversas rutas de transmisión de la excreta humana, las curvas de inactivación o los valores T_{90} (tiempo requerido para la inactivación del 90% de los organismos) son necesarios.



Figura 7. El ambiente en asentamientos humanos puede ser altamente afectado por la contaminación de las aguas superficiales que constituyen el mayor riesgo de transmisión de enfermedades y de criadero de insectos vectores. La introducción de la recolección seca de la materia fecal y la recolección separada de la orina podrían reducir los riesgos sustancialmente. Adicionalmente, se debe promocionar el manejo de las aguas grises.

El tiempo y las condiciones predominantes son las condiciones que generalmente afectan la supervivencia de los microorganismos en el medio ambiente. Varios factores físico-químicos y biológicos tienen un impacto, pero este impacto varía según los microorganismos. Para las estimaciones totales del riesgo, la selección de los organismos más resistentes es un enfoque conservador que se aplica también para otras especies más sensibles. Los factores ambientales y los relacionados con los organismos interactúan entre sí, produciendo características de supervivencia que varían en cualquier localización particular. Estos factores también pueden utilizarse por separado o en combinación con el tiempo como métodos de tratamiento para producir fertilizantes seguros de la excreta.

Tabla 4. Factores físico-químicos y biológicos que afectan la supervivencia de los microorganismos en el medio ambiente

Temperatura	La mayoría de microorganismos sobreviven bien a bajas temperaturas (<5°C) y decrecen rápidamente a altas temperaturas (>40-50°C). Este es el caso en el agua, suelo, aguas residuales y en los cultivos. Para asegurar la inactivación en procesos de compostaje, por ejemplo, se necesitan temperaturas alrededor de los 55-65°C para matar todos los tipos de patógenos (excepto las esporas de las bacterias) en unas cuantas horas (Haug, 1993).
pH	Muchos microorganismos están adaptados a un pH neutro (7). Las condiciones altamente ácidas o alcalinas tendrán un efecto inactivador. La adición de cal a la excreta en las letrinas secas y a los lodos residuales puede incrementar el pH e inactivará a los microorganismos. La velocidad de inactivación depende del valor de pH, por ejemplo, es mucho más rápido a un pH de 12 que a uno de 9.
Amoníaco	En ambientes naturales, el amoníaco (NH ₃) químicamente hidrolizado o producido por bacterias puede ser tóxico para otros organismos. La adición de químicos generadores de amoníaco facilitará la inactivación de patógenos en la excreta o los lodos residuales (Ghigletti <i>et al.</i> , 1997; Vinnerås <i>et al.</i> , 2003a).
Humedad	La humedad está relacionada con la supervivencia del organismo en el suelo y en las heces. Un suelo húmedo favorece la supervivencia de los microorganismos y un proceso de secado reducirá el número de patógenos, por ejemplo en las letrinas.

Radiación Solar/ Rayos UV	La radiación ultra violeta reducirá el número de patógenos. Esta es usada como un proceso para el tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales. En el campo el tiempo de supervivencia será menor en el suelo y en la superficie de los cultivos donde la luz solar pueda afectar a los organismos.
Presencia de otros microorganismos	La supervivencia de los microorganismos es generalmente más larga en el material que ha sido esterilizado que en una muestra ambiental que contiene otros organismos. Los organismos pueden afectarse unos a otros por depredación, liberación de sustancias antagonistas o competición (véase los nutrientes a continuación).
Nutrientes	Las bacterias se desarrollarán en el ambiente, si los nutrientes están disponibles y otras condiciones son favorables. La bacteria entérica adaptada para el tracto gastrointestinal no es siempre capaz de competir con organismos nativos por los escasos nutrientes, limitando su habilidad de reproducirse y de sobrevivir en el ambiente.
Otros factores	La actividad microbiana depende de la disponibilidad de oxígeno. En el suelo, el tamaño de las partículas y la permeabilidad impactarán la supervivencia microbiana. En el suelo así como en los ambientes de las aguas residuales y del agua, varios organismos y componentes químicos inorgánicos pueden afectar la supervivencia de los microorganismos.

TRATAMIENTO DE LA ORINA

Almacenamiento

El desafortunado hecho de que patógenos entéricos entren al tanque de recolección de la orina es de importancia para la evaluación de riesgos higiénicos relacionados con el manejo y uso de la orina. La supervivencia de varios microorganismos en la orina con el tiempo es afectada por las condiciones de almacenamiento.

Se han realizado estudios añadiendo varios tipos de microorganismos a la orina y su inactivación con el tiempo (Höglund, 2001). Para la orina, se ha llegado a la conclusión de que principalmente la temperatura y un pH elevado (~9) en combinación con el amoníaco afectan la inactivación de los microorganismos. Las bacterias como la *Salmonella* y la *E-coli* (así como y en representación de otras bacterias Gram-negativas) fueron inactivadas rápidamente. Las bacterias Gram-positivas tuvieron tasas similares de inactivación a las de las *Cryptosporidium parvum* y tuvieron una tasa de decrecimiento menor que las bacterias Gram-negativas (Höglund, 2001) (Tabla 5).

Los virus se redujeron por completo a bajas temperaturas (4-5°C) (Tabla 5). Esto se sustenta en estudios de Franzén y Scott (1999) registrando una reducción insignificante de la *Salmonella typhimurium* bacteriófago 28B (usada como modelo conservador del virus) durante un estudio de seis semanas en México a temperaturas entre los 14°C y los 22°C y a un pH alrededor de 9,5. Colifagos, generalmente presentes en la materia fecal, nunca fueron encontrados en las muestras de los tanques de orina (Olsson, 1995) indicando una mayor tasa de inactivación que para los fagos de la *Salmonella*. Su alta resistencia se muestra también en comparación con el rotavirus (Tabla 5) confirmando su naturaleza conservadora como un modelo para la inactivación.

De acuerdo a Hamdy *et al.*, (1970; en Feachem *et al.*, 1983) la orina es ovicida y los huevos de *Ascaris* son destruidos en horas. Olsson (1995) sin embargo, encontró que la reducción de *Ascaris suum* en la orina era menor a 4°C y a 20°C la reducción fue de 15-20% durante un período de 21 días. Estudios recientes han reportado la inactivación de la *Schistosoma*

haematobium en la orina (Porter, 1938; en Feachem *et al.*, 1983).

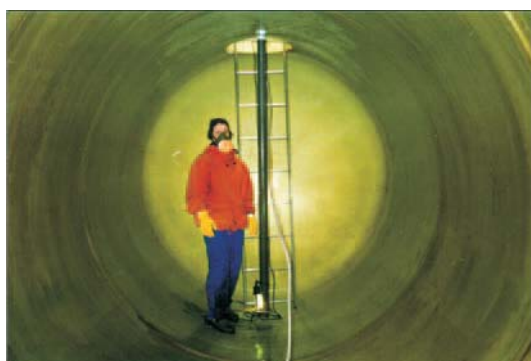
Tabla 5. Inactivación de microorganismos en la orina, dados como valores T_{90} (tiempo para el 90% de reducción) en días (Höglund, 2001)

	Bacterias Gram-negativas	Bacterias Gram-positivas	<i>C. parvum</i>	Rotavirus	<i>S. typhimurium</i> fago 28B
4°C	1	30	29	172 ^a	1466 ^a
20°C	1	5	5	35	71

^a Experimentos de supervivencia llevados a cabo a 5°C.

Sobre la base de estudios de la inactivación de patógenos e indicadores de la inactivación en la orina, se han propuesto lineamientos para el tiempo de almacenamiento de la orina y la temperatura (Tabla 6; Jönsson *et al.*, 2000; Höglund, 2001). Las temperaturas fueron principalmente seleccionadas de acuerdo a las condiciones climáticas de temperatura. Los lineamientos han sido avalados por la Agencia de Protección Ambiental de Suecia (EPA) pero no han sido aún implementados en los reglamentos nacionales. Ellos serán considerados en los nuevos Lineamientos revisados de la OMS para el uso de la excreta.

Para viviendas unifamiliares, la mezcla de la orina puede ser usada sin previo almacenamiento para todo tipo de cultivos, dado el caso de que los cultivos sean para el consumo en la misma vivienda y que un mes haya transcurrido entre la fertilización y la cosecha, es decir el tiempo entre la última aplicación de la orina y el de consumo. Una razón para que los lineamientos sean menos exigentes en viviendas unifamiliares es que la transmisión de persona a persona excederá el riesgo relacionado con la transmisión de la orina al ambiente.



Figuras 8 y 9. La recolección y almacenamiento de la orina puede ocurrir a diferentes escalas. Cuando la recolección envuelve grandes tanques de recolección o el almacenamiento en tanques en el campo (como en estas figuras) un nivel de seguridad mayor y lineamientos más estrictos son necesarios en relación con el almacenamiento del material recolectado de diferentes personas.

El uso directo o períodos cortos de almacenamiento son aplicables para sistemas pequeños de tipo doméstico en países en desarrollo. Al mismo tiempo, las altas temperaturas ambientales en muchos de los países en desarrollo incrementarán las tasas de inactivación y seguridad. En situaciones donde la prevalencia de algunas infecciones entéricas es alta y los sistemas técnicos no garantizan que no se de una contaminación cruzada fecal, se recomienda un tiempo mayor de almacenamiento.

La recomendación general de almacenamiento busca principalmente reducir los riesgos de

consumir cultivos fertilizados con orina. Ella reducirá también el riesgo para las personas que manipulan y aplican la orina.

Debido a la complejidad del sistema, los lineamientos dados en la Tabla 6 pueden ser adoptados para sistemas grandes (urbanos) en países y regiones en desarrollo. El tiempo de reposo de un mes entre la fertilización y la cosecha debe ser sin embargo añadido también. Los factores ambientales darán como resultado la inactivación de los patógenos en el suelo y en los cultivos después de la aplicación. Véase las Recomendaciones Prácticas, pág. 34, para las medidas de seguridad personal relacionadas con la manipulación. El almacenamiento siempre incrementará la protección de las personas expuestas en el campo.



Figura 10. En sistemas pequeños familiares, la orina puede ser usada directamente o luego de un período corto de almacenamiento si los cultivos son para el uso de la misma familia. La probabilidad de transmisión es mayor entre los miembros de la familia que a través de los cultivos fertilizados con orina.

Puede ser necesario adaptar las recomendaciones específicas para sistemas a gran escala, a las condiciones locales, tomando en cuenta los factores de comportamiento y seleccionando el sistema técnico. Si un sistema es claramente mal conducido, es decir las heces pueden ser vistas en el tazón separador de la orina u otras rutas de contaminación cruzada se prevén, se deben tomar precauciones especiales. La contaminación fecal en general tratada en las recomendaciones (Tabla 6), sólo corresponde a miligramos por litro, como fue medido en un tercio de los inodoros desviadores suecos analizados (dos tercios no mostraron signos de contaminación) (Schönning *et al.*, 2002). Se justifican lineamientos menos exigentes para los países en desarrollo comparados con los lineamientos suecos debido a los estándares, generalmente, más altos de salud de los países industrializados, donde se aplica una interpretación cautelosa de los principios de precaución y requerimientos mayores de seguridad. Sobre la base de los cálculos de la evaluación del riesgo para la orina se puede concluir que un tiempo de reposo de pocas semanas corresponde al tiempo de almacenamiento sugerido para un mes a 20°C (Höglund *et al.*, 2002). La única diferencia con los sistemas que no requieren almacenamiento sería la exposición a concentraciones potencialmente más altas de patógenos al aplicar la orina y al entrar o trabajar en los campos.

Tabla 6. Lineamientos suecos recomendados de tiempos de almacenamiento para la orina mezclada^a basados en estimaciones del contenido de patógenos^b y cultivos recomendados para sistemas grandes^c. (Adaptado de Jönsson et al., 2000 y Höglund, 2001)

Temperatura de almacenamiento	Tiempo de almacenamiento	Patógenos probables en la mezcla de la orina luego del almacenamiento	Cultivos recomendados
4°C	≥1 mes	Virus, protozoos	Cultivos alimenticios y cultivos de forraje que serán procesados
4°C	≥6 meses	Virus	Cultivos alimenticios que serán procesados, cultivos de forraje ^d
20°C	≥1 mes	Virus	Cultivos alimenticios que serán procesados, cultivos de forraje ^d
20°C	≥6 meses	Probablemente ninguno	Todos los cultivos ^e

^a Orina u orina y agua. Cuando diluida se asume que la mezcla de orina tiene como mínimo un pH de 8,8 y una concentración de nitrógeno de mínimo 1 g/l.

^b Las bacterias Gram-positivas y bacterias que forman esporas no están incluidas en los análisis de riesgos subrayados, pero normalmente no son reconocidas por causar ningún tipo de infección preocupante.

^c Un sistema grande en este caso es un sistema donde la mezcla de la orina es usada para fertilizar cultivos que serán consumidos por individuos diferentes a los miembros de la vivienda donde la orina es recolectada.

^d No praderas para la producción de forraje.

^e Para cultivos alimenticios que serán consumidos crudos es recomendado que la orina sea aplicada mínimo un mes antes de la cosecha y que esta sea incorporada al suelo si las partes comestibles crecen sobre la superficie del suelo.

Durante el almacenamiento la orina debe estar contenida en un tanque sellado o contenedor. Esto previene que las personas y animales puedan entrar en contacto con la orina e impide la evaporación del amoníaco, reduciendo así el riesgo de olores y la pérdida de nitrógeno disponible para las plantas.

La orina, preferiblemente, no debe ser diluida. La orina concentrada provee un ambiente más adverso para los microorganismos, incrementa la tasa de decrecimiento de los patógenos y previene los criaderos de mosquitos. Es así que mientras menos agua diluya la orina será mejor.

Otros tratamientos posibles

Hasta ahora, el almacenamiento a temperatura ambiental es el único método practicado para higienizar la orina. Se han experimentado métodos para concentrar los nutrientes en la orina pero aún no son lo suficientemente eficientes, comercialmente disponibles o evaluados desde un punto de vista higiénico. Algunos, por ejemplo la evaporación del nitrógeno (amoníaco) mediante la aplicación del calor reducirán sustancialmente el número de microorganismos.

El secado de la orina en zanjas abiertas ha sido probado en Suecia y Mali pero da como resultado una pérdida sustancial de nitrógeno, mientras el fósforo y el potasio se mantienen. Una fracción de orina seca (en forma de polvo) no ha mostrado tener riesgos microbianos para la salud.

Incrementar la temperatura o el pH de la orina recolectada podría acelerar la inactivación de los potenciales patógenos. El incremento relativo de las tasas de inactivación a temperaturas superiores a los 20°C no ha sido probado aún y requiere ser cuantificado.

Almacenamiento de la orina

El almacenamiento de la orina a temperatura ambiental es considerado una opción viable de tratamiento. Los tiempos recomendados de almacenamiento a temperaturas entre los 4 y 20°C varían entre uno y seis meses para sistemas de gran escala dependiendo del tipo de cultivo a ser fertilizado.

Para viviendas unifamiliares, la orina puede ser aplicada directamente a cualquier cultivo sin ser almacenada siempre y cuando transcurra un mes entre la fertilización y la cosecha, si no ha habido contaminación fecal cruzada. Se debe evitar diluir la orina.

TRATAMIENTO DE LAS HECES

Almacenamiento

El número de patógenos en la materia fecal durante el almacenamiento se reducirá con el tiempo por el decrecimiento natural, sin ningún tratamiento adicional. El tiempo de reducción o eliminación está regido por el tipo de microorganismos y las condiciones de almacenamiento. La temperatura ambiental, el pH y la humedad, entre otros afectarán la inactivación así como también la competencia biológica. Las condiciones durante el almacenamiento varían, y de igual manera lo hacen las tasas de decrecimiento, por lo que se dificulta la predicción de tiempos apropiados de almacenamiento.

En 1983, Feachem *et al.* compiló una gran cantidad de información basada en estudios de literatura de la reducción de patógenos e indicadores de reducción en diferentes materiales, incluyendo *nightsoil* y heces. La información se presenta como “valores menores a” como se muestra en la Tabla 7, y no considera las concentraciones iniciales, pero se enfoca en la inactivación total. De estudios adicionales de la literatura Arnbjerg-Nielsen *et al.*, (2004, en publicación) estimó los tiempos de reducción decimal para varios tipos de patógenos (valores- T_{90} dados para 20°C en la Tabla 7). Los estudios existentes de la inactivación de patógenos en las heces humanas son, no obstante, pocos, considerándose otros materiales como el estiércol animal y los lodos residuales para estimar las tasas de inactivación. Sobre la base de los valores T_{90} los tiempos necesarios para la inactivación decimal fueron similares a los valores presentados para una inactivación total por Feachem *et al.* (1983). Si las concentraciones iniciales son altas y se aplica el decrecimiento de la cinética de primer orden, el tiempo para un decrecimiento total podría ser significativamente más largo. La cinética de primer orden es sin embargo, no necesariamente aplicable durante un almacenamiento prolongado. Se debe señalar que los últimos cálculos solamente consideran almacenamiento y no un tratamiento adicional.

La inactivación de patógenos en el suelo es adicionalmente importante para el riesgo relacionado al uso de la excreta, aunque el tratamiento del material debe buscar la reducción substancial de los patógenos antes de que este sea aplicado en el campo. En la Tabla 7 se dan valores comparativos de inactivación decimal, una vez más, con tiempos de supervivencia mayores reportados en la literatura reciente que los estimados por Feachem *et al.* (1983). En los cultivos, sin embargo, la tasa de inactivación es a menudo considerada más rápida con valores T_{90} en el rango de unos pocos días (Asano *et al.*, 1992; Petterson *et al.*, 1999).



Figura 11. La materia fecal seca o compostada es utilizada como fertilizante para la producción de cultivos. Foto: H P Mang, GTZ

Tabla 7. Tiempos de supervivencia estimados y valores de reducción decimal para patógenos durante el almacenamiento de las heces y en el suelo, dados en días si no se establece de otra manera (Feachem et al., 1983^a; Arnbjerg-Nielsen et al., en publicación^b; Kowal, 1985^c, en EPA, 1999). No se aplica ningún tratamiento adicional. (norm. = normalmente)

Microorganismos	Heces y lodos residuales ^a 20-30°C	Heces T ₉₀ ^b ~20°C	Suelo ^a 20-30°C	Suelo T ₉₀ ^b ~20°C	Suelo ^c max absoluto ^d / normal max
Bacteria					1 año/ 2 meses
Coliformes fecales	<90 norm. <50	15-35 (<i>E. coli</i>)	<70 norm. <20	15-70 (<i>E. coli</i>)	
Salmonella	<60 norm. <30	10-50	<70 norm. <20	15-35	
Virus	<100 norm. <20	Rotavirus: 20-100 Hepatitis A: 20-50	<100 norm. <20	Rotavirus: 5-30 Hepatitis A: 10-50	1 año/ 3 meses
Protozoos (<i>Entamoeba</i>)	<30 norm. <15 ^e	<i>Giardia</i> : 5-50 <i>Cryptosporidium</i> : 20-120	<20 norm. <10 ^e	<i>Giardia</i> : 5-20 <i>Cryptosporidium</i> : 30-400	? /2 meses
Helmintos (huevos)	Algunos meses	50-200 (<i>Ascaris</i>)	Several months	15-100 (<i>Ascaris</i>)	7 años/ 2 años

^d Máximo absoluto para la supervivencia es posible durante circunstancias inusuales como una temperatura baja constante o en condiciones bien protegidas.^a

^e Falta información para *Giardia* y *Cryptosporidium*; sus quistes y oocistos podrían sobrevivir más tiempo que los tiempos indicados aquí para los protozoos.^a

Si se aplica la “zona de seguridad” en la Figura 13, como mínimo un año de almacenamiento es necesario a temperatura ambiental, sin tratamiento adicional, según el valor guía establecido para los helmintos por la OMS (1989). Strauss y Blumenthal (1990) sugirieron que un año era suficiente bajo condiciones tropicales (28-30°C), mientras que para temperaturas más bajas (17-20°C) se necesitarían 18 meses.

En un estudio sudafricano, se encontró luego de un año *Salmonella* en heces almacenadas (Austin, 2001). Se roció las heces con cenizas vegetales, dando un pH de 8,6-9,4, por lo que este estudio es una combinación de almacenamiento y tratamiento alcalino (Tabla 8). La *Salmonella*

pudo haber crecido en el material. Volteos semanales de la pila fecal en lugar de tenerlo en contenedores de plástico causaron una alta reducción de los patógenos y de los indicadores fecales, y resultaron en una humedad baja (Austin, 2001). La aireación puede incrementar la inactivación y un compostaje parcial puede haberse dado (no se reporta la temperatura). El volteo manual, sin embargo, expondrá a la persona que manipula el material a las heces no higienizadas.

En un estudio danés, se calcularon los riesgos posteriores relacionados con el uso de las heces que han sido almacenadas por 0-12 meses sin tratamiento adicional (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, en publicación; Schönning *et al.*, manuscrito). Los *Ascaris* presentaron el riesgo mayor con un 100% de riesgo de infección a la exposición de personas vulnerables después de una ingestión accidental del material, si una persona en la vivienda estuvo infectada durante el período de recolección. Los protozoos *Giardia* y *Criptosporidium*, y el rotavirus, que son de mayor preocupación en el contexto danés, dieron como resultado riesgos del 10-90% después de su ingestión accidental durante la manipulación o utilizando heces no almacenadas en el jardín. Después de un almacenamiento de 6 meses el riesgo fue extrapolado para ser del 10% mientras que luego de 12 meses era típicamente de alrededor de 1:1000. El riesgo para la hepatitis A o infecciones bacterianas fue generalmente más bajo. El almacenamiento se asumió que ocurrió a temperaturas alrededor de 20°C y la información reportada para este rango de temperatura fue usada para calcular la reducción de patógenos (Tabla 7).



Figura 12. Los lodos de las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales digeridos mesofílicamente son usados a menudo como fertilizante en la agricultura. La materia fecal separada en la fuente que ha sido tratada a menudo contiene menos patógenos y no tiene las mismas desventajas de contaminantes químicos.

En un estudio en México (Franzén & Skott, 1999), la materia fecal tuvo un contenido de humedad del 10%, un pH alrededor de 8 y una temperatura de 20-24°C. A este bajo contenido de humedad la reducción del indicador viral conservativo, el bacteriófago (*Salmonella typhimurium* 28B) fue de 1,5 log₁₀, después de seis semanas de almacenamiento. Los análisis fueron hechos en una letrina a la cual se le añadieron los fagos y no hubo una posterior adición de heces.

En un estudio realizado en Vietnam se concluyó que un bajo contenido de humedad tiene un efecto beneficioso, con la más rápida inactivación de bacteriófagos en las letrinas con el menor contenido de humedad (Carlander & Westrell, 1999). Estas letrinas tuvieron también un pH alrededor de 9 y temperaturas más altas que en el estudio anterior (véase también *tratamientos alcalinos*). Una inactivación total de *Ascaris* fue registrada dentro de seis meses. La inactivación no fue estadísticamente relacionada con un único factor en las letrinas, pero se sugirió que la combinación de una alta temperatura y de un pH alto contribuyó a la reducción principal (Tabla 8).

En El Salvador, se condujo un amplio estudio de la materia fecal recolectada en los inodoros desviadores de orina. Los usuarios añaden material para incrementar el pH de la materia fecal, sin embargo el registro de algunos valores de pH alrededor de 6 implica que, en algunos inodoros, el tratamiento se da únicamente por almacenamiento (Moe e Izurieta, 2003). El análisis de supervivencia indicó que los coliformes fecales sobrevivirían >1.000 días y que los *Ascaris* alrededor de 600 días en letrinas con un pH menor a 9.



Figura 13. La recolección de la material fecal debería ser realizada preferentemente en compartimentos de doble cámara. Cuando se llena una de las cámaras esta es sellada y el tiempo de almacenamiento se cuenta a partir de esa fecha, mientras que la otra cámara está en uso. En Vietnam, representando un clima cálido una destrucción total de los huevos de *Ascaris* y virus modelo fue obtenida en un rango de seis meses bajo esas condiciones. Si no se usan cámaras dobles, se debe planificar un almacenamiento secundario u otro tipo de tratamiento.

El almacenamiento es especialmente beneficioso en climas cálidos secos resultando en la deshidratación del material y un bajo contenido de humedad que ayudan a la inactivación de los patógenos. Si toda la materia fecal se seca debidamente, el decrecimiento de los patógenos se facilita. Esrey *et al.* (1998) señaló que se da una rápida destrucción de los patógenos a niveles de humedad menores a 25% y que este nivel debería ser buscado en los inodoros de saneamiento ecológico que se basan en la deshidratación (es decir de almacenamiento). El bajo contenido de humedad es también beneficioso para reducir el mal olor y los criaderos de mosquitos (Esrey *et al.*, 1998; Carlander y Westrell, 1999). El rebrote de patógenos bacterianos puede sin embargo ocurrir luego de la aplicación de humedad (agua) o si el material es

mezclado con suelo húmedo como se indica en los resultados reportados por Austin (2001). La deshidratación no es un proceso de compostaje y cuando la humedad es añadida los componentes orgánicos fácilmente metabolizados contribuirán al crecimiento bacteriano, incluyendo por ejemplo *E-coli* y *Salmonella*, si pequeñas cantidades de estos están presentes o son introducidas en el material.

Los quistes de los protozoos son sensibles a la deshidratación y esta afecta también su supervivencia en las superficies de las plantas (Snowdon *et al.*, 1989; Yates y Gerba, 1998). Los niveles normales de humedad no inactivan los huevos de los *Ascaris*, se requieren valores menores al %5 (Feachem *et al.*, 1983). Se carece actualmente de información del tiempo eficaz correspondiente.

Almacenamiento de las heces

El almacenamiento es la forma más simple de tratar las heces. La inactivación de patógenos es generalmente lenta y tiempos de almacenamiento en el rango de meses para la reducción bacteriana a años para algunos helmintos son necesarios para alcanzar una higienización segura del producto.

Un simple almacenamiento a temperatura ambiental, el pH y la humedad no son en consecuencia considerados prácticas seguras excepto cuando el tiempo de almacenamiento es de años (basado en la reducción de los helmintos del suelo).

Adicionalmente, la sola adición de tierra o aserrín luego de la deposición como un material de recubrimiento y acondicionador debe ser desalentada.

Sin embargo, se puede aplicar el almacenamiento en combinación con otras “barreras seguras”.

Tratamiento con calor

El calor es una de las maneras más efectivas de matar los patógenos y es un parámetro usado para alcanzar la inactivación en algunos de la mayoría de procesos aplicados, por ejemplo en el tratamiento de lodos residuales. En la Figura 14 (de Feachem *et al.*, 1983) la inactivación de patógenos se traza en función de la temperatura y el tiempo. Esto, con un margen, crea y define una “zona de seguridad”. Si la relación correspondiente tiempo-temperatura es alcanzada en todo el material expuesto, se puede considerar microbiológicamente seguro para su manipulación y uso. Por ejemplo, si una temperatura $>55^{\circ}\text{C}$ es alcanzada por uno o varios días, una inactivación eficiente ha ocurrido. Las relaciones entre tiempo y temperatura para varios patógenos han sido altamente aceptadas a pesar de que “nuevos” patógenos han sido identificados y se ha publicado literatura dando pequeñas variaciones en los resultados.

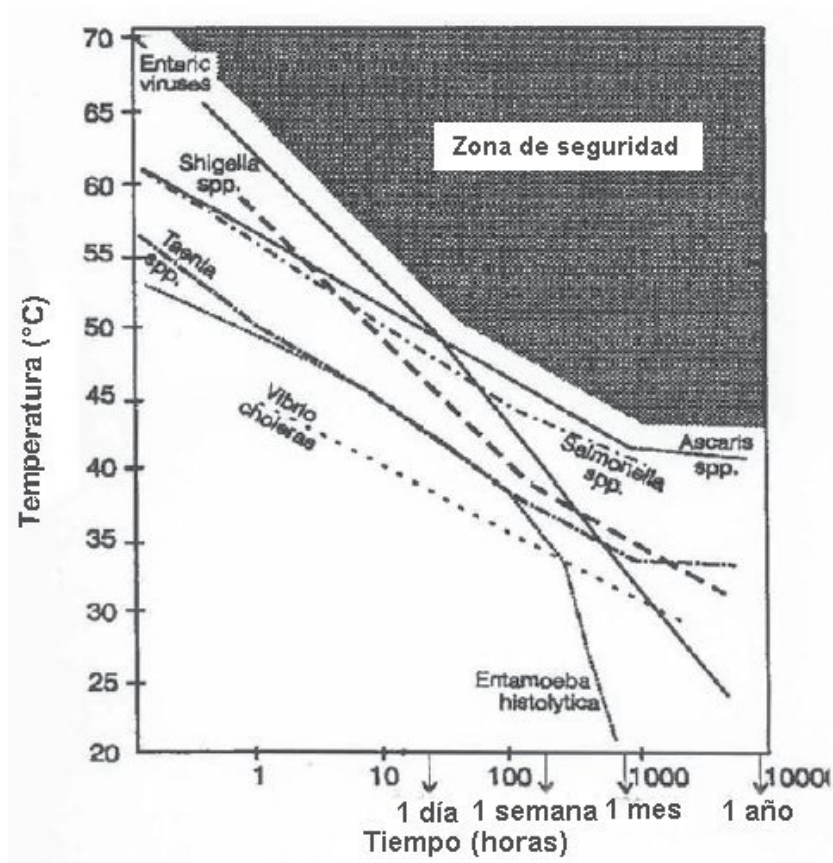


Figura 14. El "diagrama de zona segura" (Feachem et al., 1983)

Para tratar la excreta, la digestión termofílica (50°C durante 14 días) o el compostaje en pilas aireadas por un mes a 55-60°C (+ 2-4 meses de maduración posterior) son recomendados, siendo procesos generalmente aceptados (OMS, 1989). Las recomendaciones para el tratamiento de por ejemplo los lodos activados y los residuos orgánicos domiciliarios (residuos de alimentos) se basan también en dichas temperaturas (Swedish EPA, 2002; EC, 2000; Danish EPA, 1996). Haug (1993) establece que el compostaje a 55-60°C durante un día o dos será suficiente para matar esencialmente todos los patógenos. Las normas citadas anteriormente se fundamentan en períodos más largos, para dar un margen de manipulación. Es común que se formen zonas frías dentro del material digerido o compostado, dando como resultado áreas locales con menor inactivación y posiblemente rebrote de bacteria patogénica. La digestión y el compostaje adicionalmente buscan degradar y estabilizar al material orgánico. Para las heces, es de gran importancia la inactivación de patógenos. El proceso de compostaje descompondrá también el papel higiénico, volviendo el material más estético y apropiado para el uso agrícola.



Figura 15. Compostaje de heces junto con residuos domésticos en hileras. Foto: J Heeb.

Las heces también podrían ser calentadas por el sol por ejemplo en cámaras de recolección o compartimentos fecales al sol. Esto ha sido probado en versiones sencillas en sistemas de saneamiento ecológico, por ejemplo en El Salvador y en Vietnam. En El Salvador, las temperaturas máximas registradas en estos inodoros fueron mayores a las registradas en los inodoros comunes de doble cámara con desviación de orina (DCDOs) (Moe e Izurieta, 2003). Sin embargo, la temperatura medida al medio día no fue suficiente. Una temperatura promedio de 37°C (máximo 44°C) fue alcanzada en los inodoros con calentamiento solar comparada con una temperatura de 31°C en los DCDOs, lo que corresponde a ~1 grado sobre la temperatura ambiente. En las casas de verano en Suecia, por ejemplo, son comunes los inodoros secos con calentamiento eléctrico.

Compostaje

El compostaje es un proceso natural que ha sido considerado una opción viable para el tratamiento del material fecal recolectado por separado. Sin embargo, es difícil lograr a pequeña escala un compostaje térmico con una degradación efectiva del material orgánico y temperaturas termofílicas. El contenido de humedad, la aireación y la relación C:N tienen que ser los apropiados para que el proceso siga su curso con suficiente aislamiento y/o abultamiento para permitir el incremento de temperatura. En los lineamientos de la OMS, se describe el compostaje en pilas de 10-50 m de longitud por 1,5-2 m de altura y 2-4 m de ancho (OMS, 1989). Para compostar las heces es necesario añadir material voluminoso, como madera/astillas de la corteza, para permitir la aireación. Si se ha agregado cenizas o cal en la recolección primaria, es necesario añadir materiales ricos en energía como los desperdicios de la cocina y materiales ácidos para una buena composta. El secado o alcalinización del material no debe ser considerado como proceso de compostaje. Se conoce que el pH óptimo para el crecimiento de las bacterias y otros organismos de compostaje está en el rango de 6,0 a 8,0. Con los sistemas de alcalinización el pH alcanza valores de 9 o más, esto obstruye el proceso de compostaje, mientras que logra la meta de reducir los patógenos. Una mayor degradación de la materia orgánica ocurrirá cuando este sea aplicado al suelo.

El compostaje a menor escala de la mezcla de heces y residuos de alimentos (incluyendo paja como un aditivo) puede funcionar como un proceso eficiente. En experimentos controlados de pequeños reactores de compostaje bien aislados la temperatura superó los 65°C, con márgenes de seguridad satisfactorios para la destrucción de patógenos (Vinnerås *et al.*, 2003b). El compostaje, en pruebas de laboratorios, solamente de heces y paja también dio como resultado temperaturas elevadas (50-55°C durante algunos días) (Vinnerås, 2002).

En la práctica, a nivel doméstico el compostaje de heces de los inodoros desviadores de orina puede ser cuestionable. En algunos experimentos se registró un aumento menor de temperatura, probablemente debido a un aislamiento insuficiente y a la adición de cenizas lo que resultó en una reducción de la degradación biológica y pérdidas de calor (Karlsson & Larsson, 2000; Björklund, 2002).

Durante el compostaje los cambios del pH y una actividad biológica elevada afectarán la inactivación de los patógenos que es mucho más importante bajo condiciones mesofílicas. En un estudio realizado por Holmqvist y Stenström (2001), los desperdicios orgánicos de la vivienda mezclados con paja fueron compostados y produjeron una temperatura de 29-30°C y un pH entre 4,5 a 8,6. Los indicadores fecales *E-coli* y *Enterococcus faecalis* se redujeron rápidamente con una reducción respectiva de 6 y 5 log₁₀ durante los primeros tres días. El virus modelo fue reducido 3 log₁₀ mientras que la viabilidad de los huevos de *Ascaris* (óvulos) solamente se redujo de un 91% a un 70% durante un mes (Holmqvist & Stenström, 2001).

Sin embargo, los procesos mesofílicos inactivaron los patógenos a grados variables dentro de semanas o meses. Por tanto no es recomendado fiarse de este rango de temperaturas en el tratamiento de las heces, a menos de que los procesos mesofílicos estén combinados con otros procesos o barreras.

Muchos inodoros son llamados “inodoros de compostaje” sin llegar a conseguir un proceso que funcione adecuadamente; lo que ocurre allí es almacenamiento y descomposición anaerobia, deshidratación o alcalinización. A menos de que se garantice un buen mantenimiento, principalmente obtenido en unidades de compostaje grandes y bien aisladas que reciben heces y desperdicios de alimentos de un gran número de personas, es cuestionable el que se pueda confiar en las unidades de “compostaje” a escala doméstica como procesos eficientes para la reducción de patógenos. El compostaje no es por ende considerado como un tratamiento primario de elección de primera mano sino más bien una opción para tratamiento secundario de las heces a escala o nivel municipal.

Compostando las heces

El compostaje termofílico es un proceso biológico que requiere de un manejo capacitado para funcionar bien. Es importante mantener una composición adecuada de materiales para alcanzar temperaturas lo suficientemente altas para una inactivación eficaz de los patógenos. El compostaje es desarrollado, preferentemente, como un tratamiento secundario a gran escala, los procesos deben ser aislados y monitoreados para garantizar la obtención de temperaturas termofílicas (>50°C) en todo el material. El compostaje mesofílico a escalas menores necesita ser evaluado más a fondo.

Tratamientos alcalinos

Adición de ceniza y cal

La mayoría de patógenos prefieren un pH neutro, es decir al rededor de 7. Un pH de 9 o superior reducirá la carga de patógenos con el tiempo, pero para obtener una rápida inactivación es deseable un pH de 11-12 en los tratamientos donde se añade cal (por ejemplo para el tratamiento de los lodos residuales) (Boost y Poon, 1998). La adición de ceniza o cal a la excreta, practicada desde hace mucho tiempo, tiene algunos beneficios:

- Reduce el mal olor.
- Cubre el material, lo que reduce el riesgo de moscas y mejora las condiciones estéticas.
- Reduce el contenido de humedad.
- Promueve el decrecimiento de los patógenos a través del efecto del pH alto.

Los resultados de un estudio realizado en letrinas desviadoras de orina en Vietnam muestran que es posible alcanzar una eliminación total de los óvulos de *Ascaris* y de los virus indicadores (reducción $8 \log_{10}$) dentro de un período de seis meses si una o dos tazas de ceniza son añadidas después de cada uso (defecación). La temperatura promedio estuvo en el rango de 31-37°C (la temperatura máxima fue de 40°C), el pH en la materia fecal fue de 8,5-10,3 y el contenido de humedad entre 24-55%. La inactivación fue descrita como una combinación de factores pero el pH para la inactivación bacteriófago mostró ser estadísticamente significativo como un factor único (Carlander & Westrell, 1999; Chien *et al.*, 2001).

En un estudio chino realizado por Wang *et al.* (1999), las cenizas vegetales fueron mezcladas con heces en una relación de 1:3 y produjeron un pH de 9-10. Una reducción mayor a $7 \log_{10}$ de fagos y coliformes fecales y un 99% de reducción de los huevos de *Ascaris* fue registrada después de seis meses aunque la temperatura fue baja (-10°C a 10°C), dando como resultado una congelación parcial del material. Las cenizas del carbón y la tierra tienen una baja o insuficiente reducción, respectivamente. Las cenizas de carbón dieron un pH inicial de 8.

De acuerdo a Lan *et al.*, (2001) un pH >8 resulta en la inactivación de los *Ascaris* dentro de 120 días (no proporciona información detallada sobre los aditivos).

Varios inodoros de recolección (inodoros de doble cámara con desviación de orina e inodoros de una cámara calentados por el sol) en varias comunidades rurales en El Salvador fueron evaluados sobre la base de propiedades físicas y microbiológicas de las heces recolectadas (Moe e Izurieta, 2003). Los hogares añadieron cal (pH 10,5), ceniza (pH 9,4) o una mezcla específica de cal y tierra (pH 8,8), dando como resultado niveles finales de pH variables. Mediante análisis de regresión múltiple se identificó el pH como el factor simple más importante que determina la inactivación de los indicadores bacterianos y colifagos, mientras que la temperatura fue el mayor vaticinador del decrecimiento de los *Ascaris*. Un pH de 9-11 ocasionó una inactivación más rápida de los coliformes fecales y *Ascaris* que un pH menor a 9. Un resultado sorprendente fue que incluso a estos altos niveles de pH, los coliformes fecales fueron encontrados como a los 500 días, con una pequeña fracción sobreviviente a más de los 1.000 días en las letrinas con un pH >11. Para los *Ascaris* la supervivencia fue alrededor de 450 días y 700 días para los rangos de pH >11 y 9-11, respectivamente (Tabla 8). La presencia de *Trichuris*, anquilostomas, clostridios y colifagos fue medida también y, a excepción de los anquilostomas, encontrada en algunas letrinas donde el tiempo promedio de almacenamiento fue similar a un año (306 días).

Los resultados de los estudios mencionados son de cierta manera contradictorios. Un límite bajo para el pH combinado con el tiempo podría ser afectado por factores locales y de diseño. En el estudio de Moe e Izurieta (2003), la mayoría de los inodoros fueron inodoros desviadores de orina sin calentamiento solar (n=118) y 38 fueron con calentamiento solar. El estudio reporta una viabilidad de *Ascaris* en el 40% de los inodoros desviadores de orina sin calentamiento solar, mientras que los óvulos viables de *Ascaris* no se reportaron en ninguno de los 38 (0%) inodoros con calentamiento solar. Es sin embargo, evidente que el decrecimiento de patógenos se incrementa a niveles de pH mayores a 8. La cantidad y calidad de las cenizas añadidas puede variar y probablemente se necesitan estudios más a fondo de las cantidades apropiadas pero

como una regla general mínimo 1-2 tazas (aproximadamente 200-500 ml) deben ser añadidas luego de cada defecación (suficiente ceniza/cal para cubrir el material debe ser agregada). La alcalinidad y el pH final de los diferentes tipos de cenizas varía, esto dificulta la predicción de la inactivación de patógenos sólo basados en cantidades. En China, se han desarrollado dispensadores automáticos de cenizas que pueden ser usados de manera similar a los de descarga de agua. Por otro lado, si una diarrea abundante y fluida es común, estas cantidades no serán suficientes para mantener el inodoro seco. Otros aditivos, como turba, tierra u otros absorbentes deben ser necesariamente añadidos además de la ceniza o cal.

Tabla 8. Resumen de los resultados de estudios donde las heces han sido tratadas con un aditivo para elevar el pH

Área de investigación	Tipo de inodoro	Aditivo	pH, temperatura, humedad	Resultados más importantes – Inactivación de patógenos e indicadores	Referencia
Vietnam (durante la estación seca y cálida)	12 letrinas, 2 de cada tipo. Todas desviadoras de orina, la mayoría de doble cámara o varios-contenedores	Cenizas vegetales y hojas. 200-700 ml por uso	pH: 8,5-10,3 temp: 31.1-37,2°C humedad: 24-55% (valores promedio para cada letrina)	Experimentos controlados del decrecimiento en pruebas de desafío: T ₉₀ para <i>Salmonella typhimurium</i> fago 28B varía de 2.4 a 21 días. pH factor más importante para el decrecimiento Viabilidad de <i>Ascaris</i> 0-5% después de 9 semanas (excepto en 2 letrinas). pH en combinación con la temperatura afecta el decrecimiento	Carlander & Westrell, 1999
Sudáfrica (clima cálido a frío)	Varios inodoros desviadores de orina	Viruta de madera	pH: 8,6-9,4 humedad: 4-40%	Organismos presentes en el material: Después de 10 meses: todos los indicadores presentes en grandes cantidades (10 ² -10 ⁶ /g). <i>Salmonella</i> presente Después de 12 meses más: Streptococci fecal ~10 ⁴ /g, clostridios y colifagos presentes, <i>Salmonella</i> ausente.	Austin, 2001
Sudáfrica	2 inodoros desviadores de orina	Viruta de madera + volteo	pH: 8,4-8,6 humedad: 4-9%	Organismos presentes en el material: Después de 2 meses: Indicadores presentes, excepto colifagos (~10 ² /g). <i>Salmonella</i> ausente.	Austin, 2001
El Salvador	118 letrinas de doble cámara con desviación de orina, 38 letrinas solares de una cámara.	Cal, cenizas o mezcla de tierra y cal	pH: 6,2-13,0	Organismos presentes en el material: Coliformes fecales inactivados después de 500 días. pH el factor más importante <i>Ascaris</i> inactivados después de 450 días (pH >11), después de 700 días (pH 9-11). La temperatura el mayor agente de	Moe & Izurieta, 2003

China	2 letrinas	Cenizas vegetales mezclada con heces en una relación 1:3	pH: 9-10 temp: -10-10°C	inactivación Pruebas de desafío controladas y organismos presentes en el material: Después de 3 meses: >7 log ₁₀ reducción de <i>Salmonella typhimurium</i> fago 28B y coliformes fecales. 1% de viabilidad de <i>Ascaris</i>	Wang <i>et al.</i> 1999*
China		Información detallada no disponible	pH >8	Prueba de desafío controlada: Inactivación de <i>Ascaris</i> dentro de 120 días	Lan <i>et al.</i> , 2001

* Otros aditivos, cenizas de carbon, aserrín y loess fueron también probados y dieron como resultado un pH menor y menor inactivación.

La adición de un químico elevador de pH tendrá varios beneficios y tiene el potencial de inactivar patógenos. Las condiciones para lograr una remoción total de patógenos pueden variar debido a circunstancias locales. A gran escala, el tratamiento secundario del material recolectado, puede funcionar como una barrera adicional de tratamiento, dando como resultado un nivel más alto de seguridad, cuando el material es usado como un fertilizante. Los aditivos y una mezcla adicional con material rico en energía pueden afectar el compostaje secundario y el material ácido debe ser validado. No se recomienda, de acuerdo a las prácticas chinas, añadir cenizas vegetales como material absorbente a la materia fecal cuando esta será compostada, puesto que podría darse una pérdida mayor de nitrógeno. La incineración del material luego de un tratamiento alcalino puede ser también difícil debido a su bajo contenido de energía, véase más abajo. Estos aspectos necesitan ser evaluados más a fondo.

Luego del tratamiento alcalino, el fertilizante resultante tendrá un pH (>8) elevado. Esto no es preocupante desde el punto de vista higiénico y podría ser beneficioso para algunos tipos de suelos pero podría afectar a la producción de cultivos en suelos alcalinos.

Adición de ceniza o cal a las heces

La adición de ceniza o cal en el tratamiento primario a las heces es recomendada ya que facilitará la inactivación de patógenos y reducirá el riesgo de transmisión de enfermedades durante la manipulación y reuso del material. Esta reduce también el riesgo de olor y moscas en el inodoro. Los aditivos pueden influenciar la selección de las opciones de tratamiento secundario. Es necesaria una mayor evaluación para establecer las cantidades y calidad de aditivos que son necesarios para una reducción eficaz de los patógenos y su influencia en el tratamiento secundario.

Adición de urea

La urea es un aditivo elevador de pH que ha sido considerado para el tratamiento de heces a gran escala a nivel municipal. La urea añade un valor adicional al fertilizante e inactiva patógenos mediante una combinación de pH elevado y una alta concentración de amoníaco.

La adición del 3% de urea-nitrógeno a las heces resulta en un pH similar a 9,3, que a 20°C corresponde a 8.000 mg/l de amoníaco libre. Durante estas condiciones no se detectó *E-coli* o *Salmonella* después de 5 días, los enterococos se redujeron 2 log₁₀ y la viabilidad de los huevos

de *Ascaris* fue del 90% (Vinnerås *et al.*, 2003a). Después de 50 días no se registraron patógenos viables o indicadores, excepto por los formadores de esporas de clostridios. Puesto que el amoníaco se quedará en el material si este es adecuadamente almacenado, el riesgo de rebrote de bacteria patogénica en la materia tratada será mínimo.

El amoníaco generado a pHs altos puede actuar como un agente inactivador de los virus (Pesaro *et al.*, 1995), y se ha demostrado también que afecta a los ooquistes del *Cryptosporidium* (Jenkins *et al.*, 1998). La viabilidad de los huevos de *Ascaris* fue reducida en los lodos residuales tratados con amoníaco (Ghigletti *et al.*, 1997).

Tratamiento químico de las heces

Químicos pueden ser añadidos a las heces para eliminar los patógenos. Estos tipos de tratamientos son principalmente considerados una opción para tratamiento secundario en sistemas a gran escala. Los químicos deben ser manipulados preferentemente por personal entrenado.

Incineración

La incineración de las heces minimizará el riesgo de transmisión de enfermedades relacionado con el uso final de la ceniza ya que todos los patógenos serán removidos. Los sistemas incineradores no han sido introducidos a un nivel de planificación hasta ahora. La manipulación primaria continuará involucrando riesgos higiénicos pero los sistemas con incineración en conexión directa con el inodoro pueden ser desarrollados en el futuro. Como una alternativa, los niveles de altas temperaturas pueden tener el mismo efecto benéfico desde un punto de vista microbiano. La ceniza es un buen fertilizante rico en fósforo y potasio, aunque el nitrógeno se habrá perdido.

Incineración de las heces

La incineración de las heces producirá un fertilizante libre de patógenos y puede ser usado potencialmente como un tratamiento secundario, tanto a niveles de pequeña escala como gran escala. Los sistemas que usan incineración no han sido aún adecuadamente desarrollados y evaluados.

Conclusión

Existe una gama de opciones de tratamiento disponibles para las heces. La incineración es el método más seguro donde todos los patógenos pueden ser eliminados pero no ha sido puesto en práctica. El nitrógeno se perderá pero el fósforo y el potasio serán retenidos en las cenizas. Otros métodos para reducir el contenido de patógenos dependen de la elevación del pH y la temperatura, la deshidratación, del tiempo (bajo condiciones ambientales). Los estudios de evaluación de prácticas, así como de procesos de monitoreo, de estos factores solos o combinados son limitados.

Todos los métodos de tratamiento recomendados que actualmente se utilizan, excepto el de almacenamiento, están basados en la temperatura o el pH (para la urea en combinación con el amoníaco). Otros factores también afectan la supervivencia microbiana pero no son fácilmente controlados o medidos. La competición biológica que ocurre con las bacterias propias del suelo será efectiva después de la aplicación en el suelo. Sin embargo, esta no se recomienda como un

proceso de tratamiento primario debido a las dificultades de reproducción. Nuestros sentidos humanos no son un vaticinador de la seguridad; un buen olor, un material parecido al humos no significan necesariamente que el producto sea un fertilizante seguro. Las recomendaciones deben consecuentemente estar relacionadas con parámetros mensurables y a condiciones que, en la teoría y en la práctica, se saben alcanzarán un resultado esperado.

Las opciones prácticas dependen de la escala del sistema, es decir nivel domiciliario o municipal. Para estos últimos, están disponibles opciones más técnicas. Como establece la OMS (1989), la implementación del tratamiento a nivel individual ha añadido dificultades que



involucran los hábitos de las personas y algunas veces prácticas establecidas desde hace mucho tiempo. La escala también influencia las combinaciones de tratamientos adecuados primarios y secundarios y las barreras. Los sistemas de manejo deben ser desarrollados y adaptados a los diferentes tratamientos.

Figura 16. Inodoro desviador de orina con plataforma de cuclillas en China

EL USO PROBABLE DE INDICADORES DEL TRATAMIENTO

Una medida analítica estándar, es decir un organismo indicador, para controlar la “producción” de un fertilizante seguro sería la situación ideal, pero esto no se considera como una opción viable, debido a diversas limitaciones. Por lo tanto, las recomendaciones detalladas de cómo manejar de manera segura un sistema de saneamiento incluyendo el uso de las heces y la orina, pueden ser más valiosas. Existen candidatos idóneos, que representan a la mayoría de organismos resistentes en los grupos de bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Estos pueden ser usados como organismos conservativos indicadores para la validación de diferentes opciones de tratamiento en pruebas de desafío. Los enterococos, bacteriófagos seleccionados, *Cryptosporidium* oquistes y huevos de *Ascaris* pueden funcionar como dichos organismos indicadores.

Para las heces (o la excreta, es decir heces y orina mezcladas), los lineamientos de Engelberg (indicados en OMS, 1989) para los huevos de nemátodos y coliformes fecales han sido anteriormente tomados como parámetro, aunque se indica que estos no están pensados como estándares para la vigilancia de la calidad sino más bien como metas del diseño para los sistemas de tratamiento. Los problemas con el control de calidad incluyen los costos, la falta de capacidad de los laboratorios locales y la falta de métodos de rutina para los indicadores o patógenos específicos que pueden representar a varios grupos de patógenos. Los coliformes fecales termotolerantes son todavía ampliamente usados aunque se ha cuestionado cuán

representativos son de los patógenos de precaución.

En la orina, el comúnmente usado organismo indicador fecal *E-coli* es inapropiado debido a su rápida inactivación, que no imita el decrecimiento de diferentes patógenos. Por otro lado, se mostró que los enterococos (estreptococos fecales), crecen dentro del sistema de tuberías de la orina y pueden, por tanto, dar resultados positivos falsos en la estimación de contaminación fecal. Este tiene una reducción menor y puede ser usado como un vaticinador de la eficiencia del almacenamiento. Ninguno de estos dos indicadores es, sin embargo, apropiado para ser usado como vaticinador del grado de contaminación fecal y riesgos asociados. La búsqueda de patógenos específicos en la orina requiere mucho tiempo y es costosa. En su lugar una contaminación fecal asumida puede ser usada como un vaticinador para tiempos prescritos de almacenamiento y el consecutivo tiempo de espera entre la fertilización y la cosecha.

Resultados para compostaje mesofílico (Holmqvist y Stenström, 2001) insinúan que los indicadores *E-coli* y enterococos no fueron apropiados para este tipo de procesos, puesto que su inactivación fue mucho más rápida que para otros virus y huevos de *Ascaris*. Incluso si muchos de los reglamentos para el tratamiento de lodos residuales y residuos de alimentos se basan en *E-coli* y *Salmonella* como indicadores de calidad, un monitoreo de los parámetros del proceso (por ejemplo la temperatura) es mucho más relevante y considerado como el principal control. Si están incluidos para propósitos de monitoreo, estos dos indicadores se deben relacionar con riesgo de rebrote durante la posterior manipulación de los materiales.



Figura 17. Inodoro separador de orina elevado en Vietnam

Recomendaciones prácticas en relación al uso agrícola

ORINA

Las principales recomendaciones para la orina son:

- 1) El uso directo después de la recolección o un corto período de almacenamiento es aceptable a nivel domiciliario (vivienda unifamiliar),
- 2) Debe ser almacenada en sistemas grandes (donde el tiempo y las condiciones, dados en la Tabla 6, serán aplicados),
- 3) Mínimo deberá transcurrir un mes entre la fertilización y la cosecha,
- 4) Recomendaciones adicionales más estrictas pueden ser aplicables a nivel local, si una frecuente contaminación fecal cruzada está presente. Las recomendaciones para tiempo de almacenamiento están directamente vinculadas al uso agrícola y a la selección del cultivo (Tabla 6). Prácticas adicionales para minimizar los riesgos incluyen lo siguiente:
 - Cuando se aplica la orina, se deben tomar precauciones relacionadas con la manipulación de un material potencialmente infeccioso. Estas precauciones pueden incluir usar guantes y un meticuloso lavado de manos.
 - La orina debe ser aplicada usando técnicas de fertilización cerca de la tierra que eviten la formación de aerosoles.
 - La orina debe ser incorporada en el suelo. Esto puede ser en la práctica hecho mecánicamente o por una posterior irrigación con agua.

Se recomienda utilizar un método de aplicación/fertilización cercano a la tierra para minimizar la formación de aerosol. A gran escala esto es a menudo hecho usando equipo agrícola especial, mientras que a una escala menor es generalmente aplicado manualmente. Manipular volúmenes pequeños es generalmente seguro, y la orina no debe, preferentemente, ser diluida antes de la aplicación.

HECES

Las prácticas de uso agrícola (y recomendaciones) dependerán del tratamiento seguido. Incluso si un tratamiento está dirigido a eliminar el riesgo de la transmisión de patógenos y su potencial ha sido probado en laboratorio y/o en experimentos de campo, las etapas del proceso podrían fallar, dando como resultado un fertilizante que no es higiénicamente seguro por completo. Consecuentemente se deben tomar medidas adicionales para minimizar el riesgo de transmisión de enfermedades. Así como:

- No usar el equipo utilizado para el transporte de excretas no higienizadas para transportar el producto tratado (higienizado).
- Cuando se aplica las heces al suelo, se deben tomar precauciones relacionadas con la manipulación de material potencialmente infeccioso. Estas precauciones deben incluir protección personal e higiene. Naturalmente, se debe lavar las manos.
- Las heces se deben trabajar en el suelo cuanto antes y no deben ser dejadas en la superficie del suelo.
- Las heces inadecuadamente higienizadas no deben usarse para hortalizas, frutas o tubérculos que serán consumidos crudos, excluyendo árboles frutales.

Las heces incineradas serán higiénicamente seguras. La manipulación de las cenizas resultantes se encuentra fuera del alcance de este sumario de recomendaciones.

Trabajar la excreta en el suelo reducirá una exposición adicional de personas o animales

excepto para algunos helmintos transmitidos por el suelo, y reducirá el riesgo de transporte de patógenos en la escorrentía a aguas cercanas. Un tiempo de espera entre la fertilización y la cosecha, como el sugerido para la orina (Tabla 6), es recomendado también para las heces. Esto permitirá una reducción adicional de patógenos por factores ambientales como la actividad microbiana, los rayos ultravioletas y la deshidratación, añadiendo así una barrera adicional contra la transmisión de enfermedades. Este período de espera deberá ser mínimo de un mes.



Figura 18. Plataforma de cuclillas con separación de orina

Uso alternativo de la orina

La desviación de orina se recomienda generalmente por razones prácticas, incluso si la orina y/o las heces no serán usadas. Usar la orina, concentrada o diluida con agua, es la mejor forma de utilizar los nutrientes para las plantas. Si esto no puede ser realizado por razones prácticas o culturales, existen opciones alternativas. El añadir la orina al compostaje (de desperdicios de alimentos y/o heces) usualmente tiene un impacto benéfico en el proceso. Un estudio en Tailandia mostró que la orina facilitó el proceso de compostaje (incluía sólo residuos de alimentos) (Pinsem y Vinnerås, 2003). La mayoría del nitrógeno se perderá pero el fósforo y el potasio serán retenidos. La calidad higiénica de la composta no se verá afectada negativamente por la adición de orina si la composta contiene heces. El potencial de alcanzar una mayor temperatura, debido a la generación de un ajuste en la relación C:N será beneficioso para el decrecimiento de los patógenos.

El cultivo de plantas en conexión directa con el inodoro es una mejor alternativa que infiltrar la orina en la tierra. Un inodoro de este tipo fue construido en India, por ejemplo, con infiltración subsuperficial en combinación con las aguas de la limpieza anal (Calvert, 1999). En los sistemas de plantas de absorción subsuperficial, la fracción de orina puede ser combinada con el uso de las aguas grises.

Uso alternativo de las heces

El uso de las heces permite la utilización de nutrientes adicionales contenidos en la excreta que no se encuentran en la orina. Las heces también actúan como acondicionador del suelo. La

incineración de las heces produce una ceniza que puede ser usada como fertilizante, lo cual en algunos contextos podría incrementar su aceptación para el uso.

La digestión anaerobia es otra opción si el uso directo no es posible. La digestión anaerobia requiere un material húmedo y es aplicable a veces cuando se utiliza agua para descargar las heces, un sistema no considerado en estos lineamientos.

El material de los inodoros secos puede ser también mezclado con estiércol animal en los digestores de biogas, donde el biogas es utilizado como energía y la mezcla residual heces-estiércol es usada en los campos agrícolas. Esto se practica a gran escala en China e India. Las temperaturas obtenidas están en el rango mesofílico y falta evaluar la inactivación de patógenos.

La siembra de árboles en pozos poco profundos con heces podría utilizar en parte los nutrientes. Esto ha sido practicado en Zimbabwe (Arbor Loo), por ejemplo (Morgan, 1998). Las heces pueden ser también movidas a un hoyo excavado especialmente para este propósito, lo que sin embargo, añadiría riesgos de manipulación. La necesidad de almacenamiento previo este tipo de uso es reducida, cuando no existe riesgo de filtración a las aguas subterráneas o desbordamiento y si las heces son adecuadamente manipuladas y cubiertas con otro material.

Si no es posible usar las heces, estas deberán ser eliminadas de manera segura. Nunca deberán ser dejadas al descubierto en el suelo a causa de la exposición directa de personas y animales. Es importante desarrollar sistemas de manejo seguros, con una mínima exposición de los residentes y otras personas, a nivel domiciliar y municipal. La eliminación a nivel municipal puede incluir el transporte a la planta de tratamiento de aguas residuales si existe una en la municipalidad.

Acuicultura

Los lineamientos actuales de EcoSanRes no han considerado específicamente el uso de la excreta en acuicultura. El concepto de saneamiento ecológico se basa fundamentalmente en el uso de nutrientes en el suelo. Para la acuicultura es necesario adaptar las opciones de tratamiento, con excepción, quizás, del almacenamiento. De acuerdo a la OMS, unas pocas semanas de almacenamiento de la excreta inactivarán los parásitos de preocupación, y para alcanzar el lineamiento de calidad con respecto a coliformes fecales se recomiendan la digestión o el compostaje (OMS, 1989). Adicionalmente, la exposición se considera difícil de controlar especialmente si el pez o el molusco cultivado en estanques es consumido crudo (OMS, 1989) y si los estanques son usados para nadar. En áreas donde se carece de una adecuada dotación de agua, el estanque podría ser utilizado para otros propósitos. Los trabajadores de los estanques de acuicultura son otro grupo que debe ser considerado y el equipo de protección necesario puede ser costoso e inasequible. El uso o la disposición controlada de las heces en ambientes acuáticos, no es por lo tanto recomendado, en la actualidad. Nuevos lineamientos de la OMS sobre el uso seguro de las aguas residuales y la excreta en la acuicultura serán publicados en el 2005.

Necesidades observadas de mayor investigación – vacíos en el conocimiento

De acuerdo al conocimiento actual, se recomiendan las temperaturas termofílicas para el tratamiento de varios tipos de residuos orgánicos. Esto puede ser alcanzado por ejemplo mediante incineración o compostaje, dado el caso de que las condiciones apropiadas prevalezcan. En muchos de los sistemas existentes se alcanzan únicamente temperaturas mesofílicas, necesitando estos procesos de una evaluación más profunda.

El uso de la ceniza o cal tendrá varios beneficios para el usuario del inodoro y minimizará el riesgo de manipulación del producto. Sin embargo, su adición puede cambiar las propiedades del material haciendo necesaria una mayor evaluación en tratamientos secundarios como el compostaje o la incineración.

Para sistemas de gran escala es imperante realizar estudios adicionales sobre el manejo apropiado y el uso de sistemas, incluyendo una evaluación del riesgo microbiano sistemático y seguimiento de las investigaciones epidemiológicas. Cuando se aplica un tratamiento secundario, se debe considerar diferentes métodos, incluyendo la elevación de pH con cal u otros químicos alcalinos, incluida la urea. Para la cal, existen experiencias de tratamiento de los lodos residuales a gran escala, estudios a escala de laboratorio con heces están siendo efectuados actualmente.

Para estudios futuros, sería valioso considerar una armonización de los métodos de tratamiento bajo las diversas condiciones locales y usar el mismo tipo de métodos analíticos, de manera que los resultados puedan ser comparados fácilmente. Todos los métodos necesitan ser evaluados de una manera analítica sistemática en relación a los efectos en el medio ambiente.

Necesidades observadas de adaptar los lineamientos a las condiciones locales

Los presentes lineamientos deben ser desarrollados y adaptados a varios contextos y condiciones locales alrededor del mundo. Los lineamientos deben ser desarrollados práctica y técnicamente para la implementación local de sistemas integrales de saneamiento ecológico tomando en cuenta a los actores principales como los residentes, personal que trabaja en el saneamiento y agricultores. Es necesario considerar la necesidad de desarrollar lineamientos específicos así como casos de estudios regionales, que contemplen aspectos como el clima, la cultura, los sistemas técnicos y las prácticas agrícolas. Para el programa EcoSanRes esto estará específicamente relacionado con las áreas de proyectos pilotos. La selección de las disposiciones del sistema debe basarse en las condiciones locales, es decir la sustentabilidad del sistema de saneamiento debe ser evaluada previa su implementación completa. Esto podría incluir la adaptación del sistema de recolección, tratamiento primario, manipulación y transporte, y saneamiento secundario, así como el uso del sistema. En un enfoque sistemático de evaluación de riesgos, los riesgos y beneficios deben ser evaluados desde un punto de vista higiénico.

Las condiciones climáticas como la temperatura, la humedad (incluyendo la precipitación) y la luz ultravioleta (radiación solar) afectarán la eficiencia del tratamiento de heces y orina. Una temperatura mayor, una baja humedad y una mayor radiación ultravioleta son, como se

estableció anteriormente, beneficiosos para la eliminación de patógenos; se podrían aceptar períodos de tratamiento más cortos en lugar de los establecidos por estos lineamientos.

Las creencias culturales y religiosas pueden impactar en todo el sistema, incluyendo actitudes hacia el uso de los productos de la excreta. Se ha sugerido una diferenciación entre las sociedades coprofílicas y las coprofóbicas (Esrey *et al.*, 1998). Las sociedades coprofílicas pueden tener una larga tradición en el reuso de las heces, mientras que en las sociedades coprofóbicas la excreta puede estar conectada con tabúes relacionados con el manejo y con hablar sobre las heces. En algunas áreas donde las heces han sido usadas antes sin un tratamiento apropiado, la situación higiénica podría ser mejorada si las recomendaciones sugeridas son aplicadas. En áreas donde esto no es practicado es preponderante que los riesgos y beneficios sean claramente comunicados para que no exista una degradación de la situación de la salud. La aceptación de los usuarios es naturalmente necesaria para alcanzar un sistema que funcione adecuadamente. Cuando se trata de comportamiento y aspectos de manejo de los inodoros así como de la recolección y prácticas de uso es importante informar e involucrar a la comunidad.

El uso del material para limpieza anal varía de acuerdo a la zona. El uso de papel higiénico así como hojas para la limpieza tendrá un efecto en la estructura del material, facilitando la aireación y dando como resultado una mejor estructura y mejores posibilidades de degradación en el compostaje, si este es una opción para el tratamiento secundario. Si el material es incinerado, no existe ningún problema con el papel u otro material orgánico seco, por el contrario esto contribuirá con el proceso. En tratamientos alcalinos, el papel higiénico debería preferentemente ser colocado en un basurero aparte y manejado como residuo sólido o incinerado. En áreas donde se usa piedras para la limpieza anal (Esrey *et al.*, 1998), estas deberán ser recolectadas separadamente y no arrojadas en los inodoros secos.

La limpieza anal con agua después de la defecación se practica en la mayoría de sociedades musulmanas. Dando como resultado una fracción adicional que necesita ser manejada. El agua de la limpieza anal contiene materia fecal y no deberá ser mezclada con la orina. La infiltración en el suelo de pequeñas cantidades de agua es aceptable en este caso. Si el clima es seco, se podría añadir pequeñas cantidades del agua de la limpieza anal a las heces en el proceso de compostaje. Una opción es mezclar esta agua con las aguas grises de la ducha, cocina y lavandería si esta agua es usada en sistemas de plantas de absorción subsuperficial. En la India, se ha desarrollado un inodoro de doble cámara donde el agua de la limpieza anal y la orina fluyen a una cama de evapotranspiración adyacente en la que se cultivan plantas (Esrey *et al.*, 1998).

Se debe tener cuidado con los pañales de los niños. Las prácticas difieren de un contexto cultural a otro. Puesto que los niños pequeños son más propensos a sufrir una infección entérica, sus heces deben ser manejadas con cuidado. Se debe desalentar la defecación a campo abierto de los niños.

Durante la menstruación las mujeres usan tampones, toallas sanitarias o paños de tela lavables. Las toallas pueden ser, si son biodegradables, arrojadas en el compartimento fecal. De otro modo, deberán ser recolectadas como residuos sólidos. La sangre de la menstruación no involucra ningún riesgo de transmisión de enfermedades mediante los inodoros de saneamiento ecológico o uso de la excreta. Aún así, puede haber tabúes en algunos países con respecto a este tipo de materiales. En estos casos, la excreta de la mujer puede ser recolectada por separado y

por ejemplo incinerada. Esto podría entonces permitir el uso de las heces en estas culturas.

Recomendaciones finales

INODOROS DE SANAMIENTO ECOLÓGICO – GENERAL

- Se recomienda la desviación de orina por varias razones, una es la reducción del riesgo de transmisión de enfermedades.
- La recolección de las heces normalmente debe ser hecha sobre el suelo.
- La recolección de las heces debe ocurrir en un sitio cerrado sin riesgo de filtración a las aguas subterráneas o al medio ambiente circundante. Se prefiere la recolección en doble cámara.
- Se debe recolectar la orina minimizando el riesgo de contaminación fecal. Los urinarios son un buen complemento a los inodoros desviadores de orina.
- El calentamiento solar de los contenedores usados para la recolección de la orina y heces puede ser beneficioso para la inactivación de patógenos.
- Los sistemas de manipulación y transporte deben reducir al mínimo el contacto con la materia fecal.

TRATAMIENTO Y USO DE LA ORINA

- La orina involucra un bajo riesgo de transmisión de enfermedades.
- Se debe evitar diluir la orina.
- La contaminación fecal de la orina es probable y por tanto la orina podría contener patógenos entéricos. Las construcciones técnicas deben ser hechas de manera que minimicen la contaminación fecal cruzada.
- A nivel domiciliario (de la vivienda) la orina puede ser usada directamente.
- La orina debe, en los sistemas a gran escala, ser almacenada por un mes a 20°C antes de su uso. Adicionalmente se deberá aplicar un período de un mes de espera entre la fertilización y la cosecha (Tabla 9).

Tabla 9. Recomendaciones alternativas sugeridas para el uso de la orina recolectada en sistemas de gran escala (nivel municipal).

Tratamiento	Criterio	Comentario
1) Almacenamiento	Temperatura >20°C durante 1 mes	El tiempo deberá ser extendido para temperaturas más bajas, el pH debe ser >8.5
2) Tiempo adicional de espera*	Tiempo >1 mes	

* El tiempo de espera, es el período que transcurre entre la fertilización y la cosecha.

- Para hortalizas, frutas y tubérculos de consumo crudo, se deberá aplicar siempre un mes de tiempo de espera.
- En áreas donde el *Schistosoma haematobium* es endémico, la orina no debe ser usada cerca de las fuentes de agua dulce.
- La orina debe ser aplicada cerca de la tierra y preferiblemente mezclada con o regada en el suelo.

TRATAMIENTO Y USO DE LAS HECES

- Las heces deben ser tratadas antes de ser usadas como fertilizante.
- Los métodos de tratamiento necesitan una mayor evaluación (las recomendaciones deben ser consideradas como preliminares).
- El tratamiento primario (en el inodoro) incluye almacenamiento y tratamiento alcalino por adición de ceniza o cal.
- Después de cada defecación se deberá añadir 1-2 tazas (200-500 ml; suficiente para cubrir las heces frescas) de material alcalino.
- En sistemas de pequeña escala (nivel domiciliario), se puede usar las heces después del tratamiento primario si se satisfacen los criterios de la Tabla 10.
- Los tratamientos de la Tabla 10, junto con la incineración, pueden ser usados como tratamiento secundario (material removido del inodoro y tratado) a nivel domiciliario.

Tabla 10. Recomendaciones alternativas sugeridas para tratamiento primario (y secundario) de heces secas previo su uso a nivel domiciliario. Sin adición de nuevo material.

Tratamiento	Criterio	Comentario
Almacenamiento (único tratamiento); Temperatura ambiente 2-20°C	1,5–2 años	Eliminará la mayoría de patógenos bacterianos; el rebrote de <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i> no está considerado si se vuelve a humedecer; reducirá substancialmente virus, protozoos y parásitos. Algunos óvulos cuyo crecimiento está relacionado con el suelo pueden persistir.
Almacenamiento (único tratamiento) Temperatura ambiente 20-35°C	>1 año	Como arriba
Tratamiento alcalino	pH >9 durante >6 meses	Si la temperatura es >35°C y la humedad es <25%, un pH bajo y/o un material más húmedo prolongaría el tiempo para la eliminación absoluta.

- Tratamientos secundarios para sistemas a gran escala (nivel municipal) incluyen tratamientos alcalinos, compostaje e incineración (Tabla 11).
- El tratamiento alcalino puede ser hecho agregando cenizas, cal o urea adicionales.
- El pH después de un tratamiento alcalino debe ser mínimo de 9 y el material deberá ser almacenado a este pH por no menos de seis meses a un año. (Existe la posibilidad de que no se de una eliminación total, pero si una reducción sustancial).
- El compostaje es principalmente recomendado como tratamiento secundario para sistemas de gran escala, ya que es un proceso difícil de operar. Temperaturas >50°C deben ser alcanzadas durante una semana como mínimo en todo el material.

El almacenamiento en condiciones ambientales es menos seguro, pero aceptable si se aplican las condiciones de arriba. Tiempos menores de almacenamiento pueden ser aplicados para todos los sistemas en climas muy secos donde el nivel de humedad alcanzado es <20%. El secado solar o la exposición a temperaturas superiores a los 45°C, reducirá considerablemente el tiempo. Si el material es rehumedecido se puede dar un crecimiento de *Salmonella* y *E-coli*.

Tabla 11. Tratamientos secundarios alternativos sugeridos para las heces en sistemas de gran escala (nivel municipal). Sin adición de nuevo material

Tratamiento	Criterio	Comentario
Tratamiento alcalino	pH >9 durante >6 meses	Hipotesis: Si la temperatura es >35°C o la humedad <25%. Un pH bajo y/o un material más húmedo prolongaría el tiempo para la eliminación absoluta.

Compostaje	Temperatura >50°C por >1 semana	Requerimiento mínimo. Se requiere más tiempo si la temperatura necesaria no puede ser garantizada
Incineración	Totalmente incinerado (<10% carbono en ceniza)	
Almacenamiento	COMO ARRIBA (TABLA 10).	Se debe modificar el tiempo según las condiciones locales. Los sistemas a gran escala requieren un nivel de protección mayor que los sistemas de nivel domiciliario. Un almacenamiento adicional incrementa la seguridad

- Se debe usar equipo de protección personal cuando se manipula y aplica heces.
- Las heces deben ser mezcladas en el suelo de tal manera que queden bien cubiertas.
- Un tiempo de espera de un mes debe ser aplicado adicionalmente, es decir debe transcurrir un mes entre la fertilización y la cosecha.
- Las heces no deben ser usadas para fertilizar hortalizas, frutas o tubérculos de consumo crudo, excluyendo los árboles frutales.

ASPECTOS PRÁCTICOS

- Si el material será compostado o incinerado se puede arrojar el papel higiénico dentro del compartimento fecal del inodoro. De otra manera deberá ser recolectado por separado.
- El agua de la limpieza anal no debe ser mezclada con la orina.
- Los materiales vegetales usados para la limpieza anal pueden ser arrojados en el compartimento fecal mientras que las piedras deben ser recolectadas por separado.
- El contenido de los pañales de los niños (es decir las heces de los niños) debe ser arrojado en el compartimento fecal.
- El contenido fecal de la bacinilla debe ser arrojado en el compartimento fecal.
- Otros materiales como las toallas sanitarias deben ser arrojados en el inodoro únicamente si son biodegradables, de otro modo deberán ser dispuestos y tratados como residuos sólidos.
- Puede ser necesario añadir material absorbente adicional si los casos de diarrea son frecuentes.

Referencias

- Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, N.J., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling, A.B., Stenström, T.A., Schönning, C., Westrell, T., Carlsen, A. and Halling-Sørensen, B. In press. *Risk assessment of partly composted faeces for use in private gardens*. (Risikovurdering af anvendelse af helt eller delvist opsamlet komposteret human fæces i private havebrug. (In Danish, English summary.)) Danish EPA report, Copenhagen, Denmark.
- Asano, T., Leong, L.Y.C., Rigby, M.G. and Sakaji, R.H. 1992. 'Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data.' *Water Science and Technology* **26**(7-8): 1513-1524.
- Austin, A. 2001. 'Health aspects of ecological sanitation.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China: 104-111.
- Björklund, A. 2002. 'The potential of using thermal composting for disinfection of separately collected faeces in Cuarnevaca, Mexico.' *Minor Field Studies no. 200*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Boost, M.V. and Poon, C.S. 1998. 'The effect of a modified method of lime-stabilization sewage treatment on enteric pathogens.' *Environment International* **24**(7): 783-788.
- Calvert, P. 1999. 'Dry sanitation in Kerala, South India.' In: *Abstracts from the 9th Stockholm Water Symposium*. 9th-12th August, 1999, Stockholm, Sweden: 390-392.
- Carlander, A. and Westrell, T. 1999. *A microbiological and sociological evaluation of urine-diverting, double-vault latrines in Cam Duc, Vietnam*. Report no. 91, International Office, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- CDC. 2003a. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/leptospirosis_t.htm. Last reviewed March 7, 2003.
- CDC. 2003b. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/typhoidfever_g.htm. Last reviewed June 20, 2003.
- CDC. 2003c. <http://www.cdc.gov>.
- Chien, B.T., Phi, D.T., Chung, B.C., Stenström, T.A., Carlander, A., Westrell, T. and Winblad, U. 2001. 'Biological study on retention time of microorganisms in faecal material in urine-diverting eco-san latrines in Vietnam.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China: 120-124.
- Danish EPA. 1996. *Statutory order from the ministry of environment and energy no. 823 of September 16, 1996, on application of waste products for agricultural purposes*. Denmark.
- EC. 2000. *Working document on sludge*. 3rd draft. European Communities, Brussels.
- Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J. and Winblad, U. 1998. *Ecological Sanitation*. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden.
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease -Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Franzén, H. and Skott, F. 1999. *A study of the use and functioning of urine-diverting dry toilets in Cuernevaca, Mexico - Virus survival, user attitudes and behaviours*. Report no. 85, International Office, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Ghiglietti, R., Genchi, C., Di Matteo, L., Calcaterra, E. and Colombi, A. 1997. 'Survival of *Ascaris suum* eggs in ammonia-treated wastewater sludges.' *Bioresource Technology* **59**: 195-198.
- Haug, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Jenkins, M.B., Bowman, D.D. and Ghiorse, W.C. 1998. 'Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts by ammonia.' *Applied and Environmental Microbiology* **64**(2): 784-788.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. and Kirchmann, H. 2000. *Recycling source separated human urine*. (Källsorterad humanurin i kretslopp (In Swedish, English summary)). VA-Forsk Report 2000-1, VAV AB, Stockholm, Sweden.
- Hamdy, E.I. 1970. 'Urine as an *Ascaris lumbricoides* ovicide.' *Journal of the Egyptian Medical Association* **53**: 261-264. In: Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease - Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Holmqvist, A. and Stenström, T.A. 2001. 'Survival of *Ascaris suum* ova, indicator bacteria and *Salmonella typhimurium* phage 28B in mesophilic composting of household waste.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China: 99-103.
- Höglund, C. 2001. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. ISBN 91-7283-039-5.
- Available at: <http://www.lib.kth.se/Sammanfattningar/hoglund010223.pdf>
- Höglund, C., Stenström, T. A. and Ashbolt, N. 2002. 'Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture.' *Waste Management Research* **20**(3): 150-161.
- Karlsson, J. and Larsson, M. 2000. *Composting of latrine products in Addis Ababa, Ethiopia*. Minor Field Studies

- No. 32, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Kowal, N.E. 1985. 'Health effects of land application of municipal sludge.' Pub. No.: EPA/600/1-85/015. Research Triangle Park, NC: US EPA Health Effects Research Laboratory. In: EPA. 1999. *Environmental regulations and technology – Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*. EPA/625/R-92-013, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.
- Lan, Y., Xueming, L., Qinhua, W., Hongbo, X., Caiyun, N. and Lianghong, N. 2001. 'Observation of the inactivation effect on eggs of *Ascaris suum* in urine diverting toilets.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China:125.
- Matsui, S. 1997. 'Nightsoil collection and treatment in Japan.' In: Drangert, J.-O., Bew, J. and Winblad, U. (eds) *Ecological Alternatives in Sanitation, Proceedings from Sida Sanitation Workshop, 6th-9th August, Balingsholm, Sweden*. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden: 65-72.
- Moe, C. and Izurieta, R. 2003. 'Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador.' *Proceedings from the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*. Lübeck, Germany, 7th-11th April 2003.
- Morgan, P. 1999. *Ecological sanitation in Zimbabwe - A compilation of manuals and experiences*. Conlon Printers, Harare, Zimbabwe.
- Olsson, A. 1995. *Source separated human urine – occurrence and survival of faecal microorganisms and chemical composition*. (Källsorterad humanurin - förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning (In Swedish, English summary)). Report 208, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Ottosson, J. 2003. *Hygiene aspects of greywater and greywater reuse*. Licentiate thesis, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Pesaro, F., Sorg, I. and Metzler, A. 1995. 'In situ inactivation of animal viruses and a coliphage in nonaerated liquid and semiliquid animal wastes.' *Applied and Environmental Microbiology* **61**(1): 92-97.
- Petterson, S.R., Ashbolt, N.J. and Sharma, A. 1999. 'Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops: Are risks dictated by rare virus events?' *Proceedings from the 4th International Conference, Managing the Wastewater Resource – Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. June 7th-11th, 1999, Ås, Norway.
- Pinsem, W. and Vinnerås, B. 2003. 'Composting with human urine: Plant fertilizer approach.' *Proceedings from the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*. Lübeck, Germany, 7th-11th April 2003.
- Porter, A. 1938. 'The larval Trematoda found in certain South African Mollusca with special reference to schistosomiasis (bilharziasis).' *Publications of the South African Institute for Medical Research* **8**: 1-492. In: Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease – Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Schönning, C., Leeming, R. and Stenström, T.A. 2002. 'Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols.' *Water Research* **36** (8): 1965-1972.
- Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript.
- SMI. 2003. <http://www.smittskyddsinstitutet.se>
- Snowdon, J.A., Cliver, D.O. and Converse, J.C. 1989. 'Land disposal of mixed human and animal wastes: A review.' *Waste Management and Research* **7**: 121-134.
- Sondén, K. 1889. *The wastewater of Stockholm and its influence on the water courses around the city. Appendix to the annual report of the health authorities of Stockholm city 1888*. (Stockholms afloppsvatten och dess inflytande på vattendragen kring staden. Bihang till Stockholms stads hälsovårdsnämnds årsberättelse 1888 (In Swedish)). K. L. Beckman, Stockholm, Sweden.
- Strauss, M. and Blumenthal, U.J. 1990. *Human waste in agriculture and aquaculture: utilization practises and health perspectives*. IRCWD, Dübendorf, Switzerland.
- Svensson, L. 2000. Diagnosis of foodborne viral infections in patients. *International Journal of Food Microbiology* **59**(1-2): 117-126. Swedish EPA. 2002. *Action plan for recycling of phosphorous and sludge*. (Aktionsplan för bra slam och fosfor i kretslopp (In Swedish, English summary)). NV report 5214, Stockholm, Sweden.
- Tauxe, R.V. and Cohen, M.L. 1995. 'Epidemiology of diarrheal diseases in developed countries.' In: Blaser, M.J., Smith, P.D., Ravdin, J.I. and Greenberg, H.B. (eds) *Infections of the gastrointestinal tract*. Raven Press, Ltd., New York, NY, USA: 37-51.
- Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. PhD-thesis, Agraria 353, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Vinnerås B., Holmqvist A., Bagge E., Albiñ A. and Jönsson H. 2003a. 'The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling.' *Bioresource Technology* **89**: 155161.
- Vinnerås B., Björklund A. and Jönsson H. 2003b. 'Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method – laboratory-scale and pilot-scale studies.' *Bioresource Technology* **88**: 47-54.
- Wang, J.Q. 1999. 'Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature

- conditions.' *Abstracts from the 9th Stockholm Water Symposium, 9th-12th August*. Stockholm, Sweden: 396-398.
- WHO. 1989. *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO. 2003. <http://www.who.int/ctd/schisto/epidemiology.htm>. Last reviewed June 30, 2003.
- Yates, M.V. and Gerba, C.P. 1998. 'Microbial considerations in wastewater reclamation and reuse.' In: Asano, T. (ed.) *Wastewater reclamation and reuse*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, PA, USA: 437-488.



EcoSanRes es un programa internacional de investigación y desarrollo financiado por Asdi (Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional). Se trata de una amplia red de socios con conocimientos y experiencia en varios aspectos del saneamiento ecológico, que van desde la gestión y la higiene a las cuestiones técnicas y de reuso. Los socios representan a universidades, ONGs y consultores y participan en estudios, actividades de promoción y ejecución de proyectos en Asia, África y América Latina.

El centro de la red es el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés), que tiene un contrato con Asdi. EcoSanRes se ha convertido en un órgano de red con autoridad dentro del campo del saneamiento ecológico y coopera adicionalmente con otras organizaciones bilaterales y multilaterales como la OMS, UNICEF, PNUD, PNUMA, GTZ, WASTE, IWA, PAS, etc.

El programa de EcoSanRes tiene tres componentes principales:

- Expansión
- Capacidad
- Implementación

El trabajo de expansión incluye promoción, creación de redes y diseminación a través de seminarios, conferencias, grupos de discusión electrónicos y publicaciones.

El fomento de la capacidad, se logra a través de cursos de entrenamiento en saneamiento ecológico en de la producción de estudios y lineamientos, cuyo contenido va desde el diseño de eco-inodoros, tratamiento de aguas grises, aspectos arquitectónicos, reuso agrícola, lineamientos para la salud, herramientas de planificación, etc.

La implementación pone la teoría en la práctica con proyectos piloto de saneamiento ecológico en diversas regiones alrededor del mundo. Puesto que el factor más importante de éxito en la implementación de sistemas ecosan es la adaptación local, EcoSanRes proporciona un marco lógico para proyectos pilotos prospectivos e insiste en que los proyectos cumplan con criterios rigurosos previa su aprobación.

EsoSanRes se encuentra ejecutando proyectos pilotos principalmente en China, Sudáfrica, México e India con planes para Bolivia. La nueva fase del programa EcoSanRes que inició en el 2006 ayudará a desarrollar nodos regionales en varias partes de los países en vías de desarrollo para fomentar la capacidad más allá, la sensibilización pública e implementar proyectos locales.

Para mayor información sobre las organizaciones cooperantes y las actividades del programa por favor consultar.

www.ecosanres.org