

United States
Environmental Protection
Agency

Office of Water
Washington, D.C.

EPA 832-F-99-066
Septiembre de 1999



Folleto de tecnología del uso eficiente del agua

Inodoros de compostaje

DESCRIPCIÓN

Los inodoros de compostaje fueron comercializados por primera vez en Suecia y han sido una tecnología arraigada por más de treinta años y, posiblemente, por más tiempo en la forma de estructuras de construcción en el sitio. Debido a que requieren poco o nada de agua, los inodoros de compostaje pueden proveer una solución a problemas ambientales y sanitarios en áreas sin alcantarillado, en zonas rurales y sub-urbanas, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

Un sistema de inodoro de compostaje (o biológico) contiene y procesa excrementos, papel higiénico, materiales que contienen carbono y, a veces, desechos de comida. A diferencia de un sistema séptico, el sistema de inodoro de compostaje requiere condiciones no saturadas de humedad en las cuales las bacterias aeróbicas puedan descomponer los residuos. Este proceso es similar al compostaje de residuos de jardín. De estar bien mantenidos y ser de tamaño correcto, un inodoro de compostaje puede descomponer del 10 al 30 % del volumen original de los residuos. De acuerdo con las normas estatales y locales el material resultante, cuya textura es semejante a la de la tierra, y el cual se denomina humus, por ley debe ser enterrado, o removido por personal con licencia para el transporte de residuos sépticos.

Los profesionales de salud pública están empezando a reconocer la necesidad de contar con métodos adecuados para el tratamiento de los residuos humanos y su reciclaje que sean benéficos para el medio ambiente. El inodoro de compostaje es un sistema sin utilización de agua que tiene características excelentes para las siguientes aplicaciones (pero cuyo uso no está limitado a estas): áreas distantes en donde el agua es escasa, o en zonas en donde la percolación es lenta, el nivel del agua freática es elevado, el suelo es poco profundo, o el terreno es abrupto. Debido a que los inodoros de compostaje eliminan la necesidad de inodoros con descarga de agua, esto reduce significativamente el uso de la misma y brinda la oportunidad de reciclar nutrientes que son valiosos para las plantas.

Aunque existen muchos diseños diferentes de inodoros de compostaje, y estos continúan evolucionando, el concepto básico es aun el mismo.

El objetivo principal de un sistema de inodoro de compostaje es el contener, inmovilizar o destruir organismos patógenos y así reducir a niveles aceptables el riesgo de infección, sin contaminar el medio ambiente y sin efectos negativos en la vida de sus habitantes. Esto debe llevarse a cabo de una manera que sea consistente con buenas prácticas de saneamiento (para reducir al mínimo la disponibilidad del

excremento a vectores de enfermedades tales como moscas, y el contacto humano con excrementos no procesados), para así generar un producto final inofensivo y razonablemente seco que pueda manejarse con un riesgo mínimo.

Un inodoro de compostaje es un envase con buena ventilación que provee el medio óptimo para que se realice la descomposición biológica y física del excremento húmedo pero no saturado, en condiciones aeróbicas controladas y sanitarias. Algunos inodoros son unidades grandes que requieren un sótano para su instalación. Otros son dispositivos pequeños contruidos en el piso del baño. En el proceso de compostaje la materia orgánica se transforma mediante las bacterias y los hongos que ocurren naturalmente, descomponiendo el excremento a un producto final oxidado parecido al humus. Estos organismos crecen vigorosamente con aereación, sin necesidad de agua o productos químicos. Varios controles de proceso manejan factores ambientales (aire, calor, humedad) para optimizar el proceso.

Las variaciones principales del proceso son el compostaje continuo y el compostaje intermitente. Los sistemas de compostaje continuo (que incluyen marcas tales como CTS, Clivus Multrum, Phoenix, Biolet, SunMar, etc.) son de una sola cámara que recibe el excremento de la zona superior y permite la remoción del producto final desde el fondo. Los sistemas de compostaje intermitente o por tandas (que incluyen los de Carousel, Vera, y casi todos de los composteros contruidos en el sitio por el mundo entero) son en realidad dos o más unidades de compostaje que se llenan y se dejan madurar sin la adición continua de nuevo excremento, el cual posiblemente está contaminado con patógenos. El sistema intermitente más común es el de doble cajón de concreto, aún cuando varios sistemas usan bidones de polietileno de 55 galones en los cuales se realiza el proceso.

APLICABILIDAD

Se pueden usar sistemas de inodoros de compostaje en casi todos los lugares en donde se pueda usar un inodoro con descarga de agua. Típicamente han sido usados en casas de campo de uso estacional, casas en áreas remotas en donde no se pueden usar inodoros con descarga de agua, en áreas de recreación, etcétera. Las ventajas del uso de inodoros de compostaje son las siguientes:

- En cuanto al costo es más efectivo el tratar residuos en el sitio que construir y mantener un sistema central de alcantarillado al cual se deben transportar los residuos.
- No se malgasta agua como medio de transporte para vaciar el inodoro.
- Se retienen los elementos nutritivos (nitrógeno y fósforo) en ciclos biológicos cerrados sin ocasionar problemas a cuerpos receptores de agua.

Existen muchos informes del uso exitoso de inodoros sin agua (los de compostaje, de incineración, químicos, y de letrina). A continuación se describen algunos ejemplos de experiencias exitosas.

Reemplazo de sistemas existentes de disposición

Una familia de cuatro miembros tenía un sistema defectuoso de disposición de desechos en su vivienda localizada en una zona urbana. La familia vivía en un lote pequeño, con terreno insuficiente para construir el sistema de disposición necesario para su consumo de agua. Un inodoro sin agua fue instalado, junto con un sistema de disposición para tratar las aguas de lavado de contaminación moderada (aguas "grises"), cuya capacidad era menor en un 35%.

Rehabilitación de un sistema existente de disposición

Un sistema de disposición en un barrio residencial tenía un historial de fugas a la superficie por causa de sobrecargas. Estas fueron reducidas con la instalación de un inodoro sin consumo de agua, junto con dispositivos de conservación de agua para los componentes de plomería.

Remodelación

Se instaló un inodoro sin agua en un sótano cerca a la estancia familiar por ser más práctico que el instalar plomería y una bomba para el transporte de los residuos a una fosa séptica.

Inodoros solares sin agua en Colorado Park

La Dirección de Salud de Colorado tenía la necesidad de proveer inodoros adecuados a las áreas periféricas de una zona recreativa de 7,300 hectáreas (18,000 acres). Las opciones que se consideraron incluyeron el instalar líneas de alcantarillado y de distribución de agua, o el instalar inodoros químicos y letrinas de cajón. Sin embargo, estas opciones podían aumentar el problema por requerir un mantenimiento continuo, tener altos costos de uso de sustancias químicas, necesitar excavación y bombeo costosos, y la posibilidad de contaminación del agua subterránea. Al enfrentar este dilema, la Dirección de Salud de Colorado instaló inodoros de compostaje para descomponer los residuos sin uso de agua, sustancias químicas, contaminación, o generación de malos olores.

El compostaje resultante de los residuos descompuestos era similar a la tierra húmica y representó una reducción considerable del volumen. Directamente debajo de la descarga del inodoro se encontraba un tanque grande en donde se colocaba materia orgánica tal como los recortes de hierba, papel, y hojas. El residuo era descompuesto en forma lenta en el fondo del tanque por las bacterias que son naturales en la materia residual. Se instaló un ventilador con

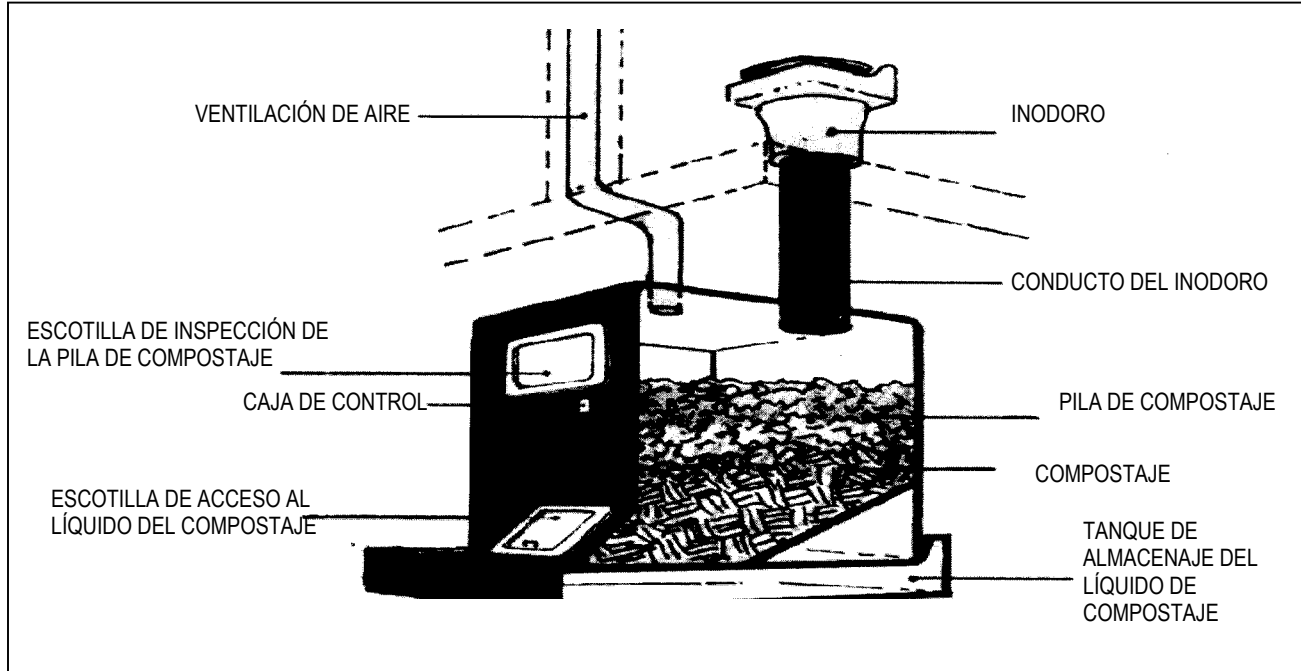
energía eléctrica obtenida de una celda fotovoltaica pequeña ubicada en el techo de cada baño (de construcción de ladrillo y concreto) para sacar los vapores producidos en el tanque. Se proveyó servicio tanto a los inodoros de hombres como de mujeres mediante un tanque único que podía manejar hasta 40,000 usos por año, y de esta manera se proporcionaron instalaciones de inodoros que eran de gran necesidad en esas áreas remotas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Se enumeran a continuación algunas ventajas y desventajas de los sistemas de inodoros de compostaje.

Ventajas

- Los sistemas de inodoros de compostaje no requieren agua para su descarga, y reducen así el consumo doméstico de la misma.
- Estos sistemas reducen la cantidad y la concentración de las aguas residuales que necesitan contar con métodos de disposición en el sitio.
- Son especialmente adecuados para nuevas construcciones en sitios remotos en donde los sistemas convencionales no son factibles para uso en el punto de generación del residuo.
- Los sistemas de inodoros de compostaje consumen poca energía.
- Los sistemas son auto-contenidos, eliminando la necesidad del transporte de residuos para su tratamiento o la disposición.
- El compostaje de residuos humanos para ser enterrados alrededor de las raíces de árboles y plantas no comestibles mantiene el reciclaje productivo de los residuos orgánicos al medio ambiente.



Fuente: Adaptado de Clivus Multrum, Inc., 1994.

FIGURA 1 INODORO DE COMPOSTAJE

- Los sistemas de inodoros de compostaje pueden aceptar desechos de cocina y reducir así la cantidad de basura casera.
- En varios estados, la instalación de sistemas de inodoros de compostaje permite al dueño de la propiedad instalar un campo de drenaje de menor tamaño, minimizando los costos y la alteración del paisaje.
- Los sistemas de inodoros de compostaje reducen la descarga de efluentes con nutrientes y organismos patógenos a los costa y la alteración del paisaje.
- Los sistemas de inodoros de compostaje reducen la descarga de efluentes con nutrientes y organismos patógenos a los suelos, el agua superficial y el agua subterránea.

Desventajas

- El mantenimiento de sistemas de inodoros de compostaje requiere una mayor responsabilidad y compromiso por parte de los usuarios y de los dueños en comparación
- La remoción del producto final es un trabajo desagradable si el sistema no está instalado o mantenido en forma correcta.
- En la mayoría de los casos hay que usar, además del inodoro de compostaje, un sistema de tratamiento para aguas "grises".
- Las unidades de menor tamaño pueden no tener una capacidad suficiente para aceptar cargas altas.
- El mantenimiento inadecuado hace difícil la limpieza, y puede crear riesgos a la salud y problemas de males olores.

- El usar un producto que no ha sido tratado adecuadamente para acondicionar el suelo puede tener consecuencias de salud.
- Puede haber factores estéticos debido a que en algunos sistemas se puede ver el excremento.
- Cuando hay demasiado líquido residual (lixiviado) en la cámara de compostaje, el proceso se puede interrumpir si no se hace el drenado y el mantenimiento en forma apropiada.
- La mayoría de los sistemas de inodoros de compostaje requieren una fuente de energía eléctrica.
- Los sistemas que no están bien instalados o mantenidos pueden producir malos olores o material no procesado.

CRITERIOS DE DISEÑO

Los componentes principales de un inodoro de compostaje (véase la Figura 1) son:

- Un reactor de compostaje conectado a un inodoro seco o de micro-descarga de agua.
- Una entrada de aire con criba y un sistema de extracción de gases (generalmente inducida con un ventilador) para eliminar olores, calor, dióxido de carbono, vapor de agua, y los subproductos de la descomposición aeróbica.
- Un mecanismo para proveer la ventilación necesaria para mantener los organismos aeróbicos en la cámara de compostaje.
- Una manera de drenar y manejar el líquido y el lixiviado excesivos (opcional).
- Controles del proceso para optimizar y facilitar el manejo de los procesos.
- Una escotilla de acceso para remover el producto final.

La unidad de compostaje necesita ser construída para lograr la separación de las fracciones sólida y líquida, y para producir un material de humus estable con un contenido de coliformes fecales menor a 200 NMP por gramo. Una vez que se ha drenado o evaporado el lixiviado, los sólidos húmedos pero no saturados son descompuestos por los organismos aeróbicos usando oxígeno molecular. Se pueden agregar aditivos de abultamiento para proveer espacio para la aeración y la colonización de los microbios. En algunos inodoros de compostaje se calienta la cámara de compostaje por medio de energía solar o eléctrica para proporcionar y mantener la temperatura óptima para su uso durante todo el año.

DESEMPEÑO

Hay varios factores que afectan la tasa de compostaje. Los factores más importantes se discuten a continuación:

- **Microorganismos:** Los microorganismos predominantes son una población mixta de bacterias y hongos. La presencia de estos microorganismos está directamente ligada a las condiciones ambientales en la materia del compostaje.
- **Humedad:** La humedad ayuda a los microorganismos a hidrolizar los compuestos orgánicos complejos a compuestos más simples antes de ser metabolizados. La humedad se debe mantener en el rango entre 40% y 70%, siendo el óptimo aproximado del 60%.
- **pH:** En sistemas de inodoros de compostaje, el pH típicamente no es una preocupación para el dueño o el operador aún cuando el pH se reduce inicialmente por la formación de ácidos orgánicos. Otros procesos bioquímicos hacen la compensación del producto final, aumentando el pH a un valor neutro. En general, el pH óptimo es entre 6.5 y 7.5.

TABLA 1: TIEMPOS TÍPICOS DE SUPERVIENCIA DE PATÓGENOS A TEMPERATURAS ENTRE 20° Y 30°C EN VARIOS AMBIENTES

Patógenos	Tiempo de supervivencia, días		
	Aguas dulces y residuales	Cosechas	Suelo
Bacteria			
Coliformes fecales ^a	< 60, generalmente < 30	< 30, generalmente < 15	< 120, generalmente < 50
<i>Salmonella</i> (spp.) ^a	< 60, generalmente < 30	< 30, generalmente < 15	< 120, generalmente < 50
<i>Shigella</i> ^a	< 30, generalmente < 10	< 10, generalmente < 5	< 120, generalmente < 50
<i>Vibrio cholerae</i> ^b	< 30, generalmente < 10	< 5, generalmente < 2	< 120, generalmente < 50
Protozoos			
Quistes de <i>E. histolytica</i>	< 30, generalmente < 15	< 10, generalmente < 2	< 20, generalmente < 10
Helmintos			
Huevos de <i>A. lumbricoides</i>	Muchos meses	< 60, generalmente < 30	< Muchos meses
Virus ^a			
Virus entéricos ^c	< 120, generalmente < 50	< 60, generalmente < 15	< 100, generalmente < 20

^a En agua salada la supervivencia de los virus es menor y la supervivencia de las bacterias es mucho menor que en agua dulce.

^b La supervivencia de *V. cholerae* en ambientes acuáticos es un tema incierto en la actualidad.

^c Incluye polio, echo, y el virus coxsackie.

Fuente: Adaptado de Crites and Tchobanoglous, 1998.

- Proporción entre el carbono y el nitrógeno (C/N): Para la utilización completa del nitrógeno de la orina se necesita una cantidad adecuada de carbono (aproximadamente 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno). Sin embargo, como la mayoría de la orina es drenada al fondo del compostero y removida, esto no es un problema tan significativo como generalmente se reporta en la literatura.
 - Aireación: El mantener un ambiente aeróbico es el factor de mayor importancia para el crecimiento de los microorganismos, la reducción de la humedad excesiva, y el minimizar la pérdida de nitrógeno por la volatilización del amoníaco. Se puede mejorar la aereación por medio de la mezcla mecánica o con la adición al compostaje de virutas de madera o aserrín.
 - Manejo: Como es el caso de todos los sistemas de tratamiento de agua residual, el manejo apropiado del sistema es crítico para que los sistemas de compostaje sean eficientes.
- Los dos parámetros principales en el proceso de compostaje que realizan la destrucción de los organismos patógenos son:
- El efecto antibiótico: Microbios y otros organismos aeróbicos más avanzados crecen en la pila de compostaje durante el proceso de descomposición, lo cual da como resultado la síntesis de sustancias que son tóxicas para la mayoría de los organismos patógenos.
 - El tiempo: La mayoría de los microorganismos patógenos no sobreviven cuando están expuestos por un periodo extenso de

tiempo a un medio desfavorable. Sin embargo, es crítico tener precauciones cuando se usa el producto final del compostaje y el líquido residual porque existe la posibilidad de que algunos patógenos sobrevivan. La Tabla 1 presenta los tiempos típicos de supervivencia de patógenos en varios ambientes, a temperaturas entre 20° y 30°C.

Las especificaciones mínimas de materiales, diseño, construcción y desempeño de los sistemas de inodoros de compostaje, las dicta el Estándar ANSI/NSF 41-1998 para Sistemas de Tratamiento Sin Saturación Líquida (*American National Standard/NSF International Standard ANSI/NSF 41-1998: Non-Liquid Saturated Treatment Systems*).

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La disposición de residuos crudos ha sido históricamente un problema desde el punto de vista de manejo. La remoción de residuos de cajas o fosas ha creado derrames accidentales y siempre es una tarea difícil. Por esta razón los administradores de instalaciones de tratamiento aprecian el concepto del compostaje del excremento humano.

Las consideraciones gerenciales para inodoros de compostaje incluyen la adquisición de información sobre el mantenimiento anual requerido, la administración y operación, el control y el aseguramiento de calidad, el mantenimiento de expedientes, y el entrenamiento.

En general, para la operación y mantenimiento de sistemas de inodoros de compostaje no se requieren técnicos con entrenamiento ni operadores de plantas de tratamiento. Sin embargo, la operación y mantenimiento rutinarios son de mayor importancia ya que cualquier sistema depende de un manejo

responsable. En climas fríos, todos los inodoros de compostaje deben ser calentados a temperaturas especificadas por el fabricante o el diseñador.

Los sistemas de inodoros de compostaje pueden requerir aditivos orgánicos de abultamiento como recortes de hierba, hojas, aserrín o paja finamente cortada. Esto ayuda al compostaje por cuanto provee una fuente de carbono para las bacterias y mantiene la porosidad de la pila para la distribución apropiada del aire. Si el inodoro se usa cada día, se recomienda agregar aditivos de abultamiento por lo menos cada dos días. Se recomienda la mezcla o el rastrillado periódicos para sistemas con una cámara única de uso continuo.

El otro paso requerido para mantenimiento es la remoción del producto final (puede ser desde cada 3 meses para un sistema domiciliario, hasta cada dos años para un sistema grande centralizado). Si el compostaje se ha llevado a cabo en forma correcta, el producto final debe no ser desagradable ni peligroso de manejar. Se deben tomar las precauciones adecuadas en el manejo del material de humus. La disposición de todos los materiales residuales se debe hacer de acuerdo con las normas estatales y locales.

COSTOS

El costo de un sistema de inodoros de compostaje depende del fabricante y el tipo de diseño. Aunque el principio del tratamiento de los residuos es el mismo, hay variaciones de diseño en los métodos de contención del excremento, la aeración, y otros aspectos del sistema. Los aspectos principales que determinan el costo son el valor de los equipos, los cimientos de la estructura, las conexiones eléctricas, y el trabajo laboral de instalación.

Para una vivienda con dos adultos y dos niños que se use todo el año, el costo de un sistema de inodoros de compostaje podría estar dentro del

rango de \$1,200 a \$6,000 dependiendo del sistema. Los sistemas de viviendas campestres diseñados para uso estacional estarían en el rango de \$700 a \$1,500. Los sistemas de gran capacidad para uso público pueden costar hasta \$20,000, o más. Sin embargo, los sistemas construidos en el sitio, como por ejemplo los sistemas de doble caja construidos con bloques de concreto tienen un costo que corresponde al costo de los materiales y el trabajo laboral requerido. Generalmente se requiere un tanque séptico y un sistema de absorción al terreno o un sistema de drenaje subsuperficial para manejar las aguas domésticas provenientes del lavado (aguas "grises").

REFERENCIAS

1. Clivus Multrum, Inc. 1994. "When Nature Calls... It Calls Clivus®." Clivus Multrum, Inc. Lawrence, Massachusetts.
2. Cook, B. 1981. "Field Evaluation of Compost Toilets." *Individual Onsite Wastewater Systems: Proceedings of the Seventh National Conference*. pp. 83–98.
3. Crites, R. and G. Tchobanoglous. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. The McGraw-Hill Companies. New York, New York.
4. Del Porto, D. A. and C. J. Steinfeld. 1998. *The Composting Toilet Book*. Chelsea Green Publishing, Inc. Whiteriver Junction, Vermont.
5. Felton, D. (editor). 1981. "State-Of-The-Art Assessment of Compost Toilets and Greywater Treatment Systems." The Winthrop Rockefeller Foundation. Little Rock, Arkansas.
6. Guttormsen, D. 1979. "Evaluation of Compost Toilets—A Field and Laboratory Update." *Individual Onsite Wastewater Systems: Proceedings of the Sixth National Conference*. For more information contact: Municipal Technology Branch, U.S. EPA, Mail Code 4204, 401 M St., S.W., Washington, D.C., 20460, Conference. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbor Michigan.
7. Hoxie, D. C. and W. W. Hinckley. 1977. "Factors Affecting Acceptance of Waterless Toilets—The Maine Experience." *Individual Onsite Wastewater Systems: Proceedings of the Fourth National Conference*. National Sanitation Foundation (NSF).
8. Jacobson, A. R. January 1982. "Waterless, Solar Toilets for Colorado Park." *Public Works*. vol. 113. no. 1. p. 85.
9. Rockefeller, A. 1980. "Separated Treatment: Composting Toilets and Greywater." *Conference Proceedings*. pp.104–118. Environmental Policy Institute and Clean Water Fund. Cambridge, Massachusetts.
10. Scholze, R. J. 1984. "Appropriate Technology for Army Waste Management: Applications for Remote Sites and Mobilization." DAEN-ZCF Technical Note No. 84-2. Department of the Army, Office of the Chief of Engineers. Washington, D.C.

11. Scholze, R. J. September 1985. "Innovation in Remote Site Waste Treatment." *BioCycle*. pp. 37-38.
12. Scholze, R. J.; J. E. Alleman; S. R. Struss; and E. D. Smith. December 1986. "Technology for Waste Treatment at Remote Army Sites." USA-CERL Technical Report N-86/20. USA-CERL. Champaign, Illinois.
13. Seabloom, R. W. and J. Engeset. March 1 & 2, 1978. "An Appraisal of Composting Toilets." Proceedings of the Second Northwest On-Site Wastewater Disposal Short Course. University of Washington. Seattle, Washington.
14. Smith, E. D.; C. P. C. Poon; S. R. Struss; J. T. Bandy; and R. J. Scholze. April 1984. "Appropriate Technology for Treating Wastewater at Remote Sites on Army Installations: Preliminary Findings." USACERL Technical Report N-160. USACERL. Champaign, Illinois.

Trisynergy Inc.
 Tevan Riedel
 P.O. Box 27015
 San Diego, CA 92198-1015
 National Small Flows Clearing House at West
 Virginia University
 P.O. Box 6064
 Morgantown, WV 26506

La mención de nombres de marca o productos comerciales no constituye una aprobación o recomendación de uso por parte de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA).

INFORMACIÓN ADICIONAL

Creative Energy Technologies
 Carsten Ginsburg
 10 Gerty's Path
 Summit, NY 12175

Jade Mountain Inc.
 Wes Kennedy
 P.O. Box 4616
 Boulder, CO 80306

Sun-Mar Corporation
 Fraser Sneddon
 5035 North Service Road, Unit C9-C10
 Burlington, ON L8N 2Y9

Para mayor información, contactarse con:

Municipal Technology Branch
 U.S. EPA
 Mail Code 4204, 401 M St., S.W.
 Washington, D.C., 20460