

Universidad Internacional de Permacultura

Asociación Civil Gaia

Publicación de Desarrollos Permaculturales Nº 1

**Baño seco de humus de lombriz por
flujo continuo**

Dr. Gustavo Ramírez

Marzo 2016



ASOCIACION
GAIA

Introducción

Esta publicación está orientada a presentar el baño seco con separación de orina de humus de lombriz de flujo continuo como una solución innovadora a los problemas generados por la materia fecal y la orina humana, tanto sea en lo ambiental como en lo económico.

Se presenta al baño seco con separación de orina de humus de lombriz como un sistema creativo desarrollado desde septiembre de 1996 por el Instituto Argentino de Permacultura, en la Ecovilla Gaia, Navarro, Buenos Aires, Argentina.

En los últimos años, otros investigadores comenzaron a utilizar lombrices para el tratamiento de materia fecal humana, generalmente fuera del baño y algunos de los primeros prototipos colocaron las lombrices en el mismo baño seco con separación de orina. Entre estos autores se pueden citar a: Larisa Et Al (2013); Christopher, A. (2010); Shalabi M, (2006); Asrat Et Al, (2013); y Geoff Hill, (2013).

El tratamiento de los desechos humanos más recomendado es aquel que se adapte localmente a las condiciones del lugar, tiene que evitar la contaminación ambiental, cortar con los ciclos de las enfermedades humanas relacionadas con la orina y la materia fecal; y a su vez, ser económicamente viable, aceptable socialmente y apropiado desde lo técnico.

Está claro que combinar agua con materia fecal en el sistema cloacal o generar letrinas que contaminan el agua se ha convertido en una de las más importantes catástrofes de la humanidad, siendo desencadenando las principales causas de muertes de los seres humanos.

Muchos modelos de baños secos se han diseñado para autoconstrucción y fabricado a gran escala para ser instalados directamente. Llevaría páginas analizar los criterios básicos de cada uno, pero podemos decir que después de un detallado estudio de ellos, se ha desarrollado un modelo completamente superador de los ya existentes.

El humus de lombriz es el producto del uso de lombrices, comúnmente lombriz californiana, *Eisenia foetida*, para descomponer materia orgánica a temperatura ambiente (de 20° a 25° C como temperaturas óptimas). Las enmiendas de humus de lombriz incrementan la materia orgánica y la capacidad de intercambio de cationes aumentan el nivel de nutrientes totales, reducen la pérdida por escurrimiento, disminuyen la densidad del sustrato y mejoran la infiltración.

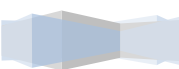
Se ha demostrado que la acumulación de nitratos en las napas de agua cuando se realiza la enmienda con humus de lombriz es mínima en comparación con la fertilización con nitrógeno inorgánico.

Si analizamos los otros métodos de baños secos, ya sean los de doble cámara o de un recipiente de no más de 50 litros, éstos se hacen muy difíciles y caros de manejar, dada la gran cantidad de materia fecal, papel y estabilizantes (cal, cenizas, aserrín, etc.) que durante el año se debe trasladar hasta su tratamiento final.

La utilización de lombrices californianas aplicado a la transformación de residuos orgánicos para mejorar los suelos es un tema con muchos años de estudio, pero es nueva su investigación y uso en el campo del tratamiento de la materia fecal humana. Los procesos comprenden una transformación mecánica, química y biológica. Al comenzar este estudio ya existían numerosas experiencias de tratamiento de materia fecal de diferentes especies de animales domésticos por lombriz californiana. En estos años comenzó a utilizarse esta lombriz californiana para el tratamiento final de los sólidos cloacales, comprobando la óptima calidad del abono generado y el correcto saneamiento de los residuos cloacales. Entre los investigadores que trabajaron en esta dirección pueden citarse a: Benítez et al., 1999; Khwairakpam y Bhargana, 2009 y Shalabi, 2006. Por otra parte, se ha visto que los lodos de tratamientos cloacales pueden producir toxicidad y pueden generar efectos depresivos sobre el metabolismo de los microorganismos del suelo cuando estos se los usa como fertilizantes (Ayuso et al., 1996). A su vez, en estos residuos se han reportado una amplia variedad de microorganismos patógenos (Hassen et al., 2001).

El baño seco con separación de orina óptimo es aquel que pueda disminuir al máximo la carga de microorganismos patógenos de la materia fecal, esto se consigue a través de un proceso de bio-transformación, logrando la estabilización de la materia orgánica. El uso de las lombrices californianas puede ser aplicado inclusive en lugares de mediana o alta densidad poblacional.

Un punto relevante son las diferencias del proceso de humificación con lombrices y el baño seco de compost. Respecto de éste último, podemos decir que es una descomposición que pasa por una fase termófila de 45° a 65°C, donde los microorganismos, principalmente bacterias, hongos y actinomicetos, liberan calor, dióxido de carbono y agua; y para que el sistema funcione, debe acompañarse de un volteo regular para lograr el nivel de aireación suficiente. En cambio, la humificación con lombrices se genera por la acción tanto de microorganismos como por de las lombrices, sin ocasionar una fase termófila (las lombrices californianas no pueden soportar más de 43°).



Otro punto clave es la alimentación de las lombrices. Lo más indicado es realizarla frecuentemente en capas de unos pocos centímetros de espesor, para evitar el sobrecalentamiento que se generaría en un compost. Las lombrices a su vez generan una rápida transformación por el trabajo de aireación.

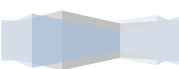
El objetivo principal de este diseño fue lograr la reducción máxima de sólidos volátiles presentes en la materia fecal para poder obtener la estabilización de la materia orgánica, proceso que las lombrices hacen con máxima eficiencia. Para llegar a esto deben cumplirse una serie de requisitos a nivel ambiental en el sustrato donde viven las lombrices, a saber:

- **Temperatura:** *E. foetida* vive entre 0° y 43° C, siendo las mejores temperaturas para su actividad y reproducción entre 20° y 25° C. Estas temperaturas se pueden alcanzar la mayor parte del año en el diseño de baño seco presentado. Se han encontrado huevos congelados vivos cuando las temperaturas bajan de 0°C.
- **Humedad:** la humedad necesaria del sustrato para *E. foetida* es de 50 a 80% (Domínguez y Edwards, 2004). La materia fecal en promedio tiene 80%, de esta manera se obtienen las condiciones ideales de humedad. En condiciones de menor cantidad de humedad se retrasa el desarrollo sexual.
- **Sales, Amoníaco y Nitrógeno:** *E. foetida* puede vivir en materia fecal con alto contenido de sales inorgánicas, aunque prefieren sales con un contenido menor de 0,5% en el sustrato. En relación con el amoníaco son muy sensibles y mueren en residuos conteniendo altos niveles del mismo. (Por su parte, son muy sensibles al amoníaco y mueren en residuos que contengan altos niveles del gas).

En presencia de niveles mayores de 1 mg/gr de amoníaco comienza a disminuir la sobrevivencia de *E. foetida* (Domínguez y Edwards, 2004). La materia fecal humana es rica en la cantidad de nitrógeno (con una relación 5:10). A su vez, es necesario lograr una buena relación carbono/nitrógeno (c/n): debe estar alrededor de 20:1 para el correcto desarrollo de los microorganismos, y que estos sean capaces de hacer el primer trabajo de descomposición sobre el sustrato, para que luego pueda actuar la *E. foetida*. Debido a esto, el sistema diseñado partió con el precepto de agregar fuentes de materia orgánica con alto contenido en carbono y que al mismo tiempo no interfiriera con las lombrices, como puede darse con virutas o aserrín de árboles que contienen oleorresinas. Los materiales utilizados regularmente son la celulosa aportada por el papel higiénico y el cartón proveniente del rollo de este papel (estos tubos son muy indicados por el aire que generan en la pila de materia fecal) y el agregado de paja, obtenida del corte de pasto.

Como proceso que incorpora valor, ayudan a mantener aireada la pila. Este material se agrega según la cantidad de personas que utilizan el baño, variando las frecuencias de colocación de una vez cada tres días a una vez al mes. La cantidad de paja aplicada es de alrededor de un balde de 20 litros lleno.

- PH: La *E. foetida* tiene un margen amplio de aceptación de PH, aunque prefiere PH ácido de valor 5. La materia fecal en descomposición genera un PH correcto, siempre y cuando no se agregue cal o cenizas después del uso del inodoro.



Diseño

El diseño desarrollado del baño seco de humus de lombriz tuvo como objetivo lograr las mejores condiciones del desarrollo de *E. foetida* dentro de la pila de materia fecal para que las lombrices puedan tener el ambiente más conveniente para su desarrollo.

En general, los sistemas de producción de humus de lombriz tienen varios temas para resolver, entre ellos se debe considerar la colocación de capas de sustrato a humidificar, el cuidado de las condiciones del PH, lograr una buena aireación y evitar la acumulación de líquidos que pueden llegar a asfixiar a las lombrices.

Para evitar caer en dichos problemas, el sistema de mantenimiento de *E. foetida* utilizado en el diseño es un método vertical de flujo continuo. Éste fue desarrollado para el óptimo funcionamiento del baño, con el objetivo de alcanzar una rápida humificación por ser un sistema de ventilación eficiente, el cual incluye: un doble sistema de malla para la separación de capas de sustrato y del humus, agregado de carbón pirólico, cultivo de microorganismos, colocación de una trama de bambús perforados para mejorar la aireación y factores de corrección de humedad y nivelación de la relación c/n mencionados con anterioridad.

Las lombrices encuentran continuamente alimento para procesar y se reproducen en forma constante si las condiciones son las descritas más arriba. De esta forma, se genera un equilibrio entre el crecimiento poblacional y la cantidad de alimento. Para completar el proceso, el humus que producen cae a la base de la cámara, donde se acumula.

Antes de utilizar un nuevo baño seco recién instalado se colocaron lombrices con sustrato listo para ser usado como alimento. Así de le dio tiempo a la materia fecal a que reúna las condiciones necesarias. Asimismo, algunos baños con puerta inferior no se cultivaron con lombrices y al tiempo llegaron a ingresar lombrices de baños vecinos.

El PH de la materia fecal es importante para el nivel de descomposición y madurez del sustrato, debido a que influencia la actividad de los microorganismos. En un sustrato con material fecal con un alto porcentaje de nitrógeno el PH es clave. Un PH superior a 8,4 convierte al amonio ion (NH_4^+) en amoniaco, de esta manera se pierde nitrógeno del material y provoca la inhibición de los microorganismos nitrificantes. Además, se produce olor marcado por el amoniaco que se desprende y reduce el valor en nutrientes del producto final.

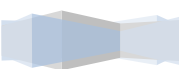
En general, en los primeros días de un PH 7 de materia fecal, en un baño llega a niveles de 7,5 a 8 sin que estos PH lleguen a afectar a las lombrices. Luego de 20 días el PH tiende

otra vez al neutro y PH de 6 a 6,5. Por esto, el sustrato resulta de un PH ideal para el desarrollo de *E. foetida* (Gunadi y Edwards, 2002, Garg et al., 2006).

La cantidad de sólidos volátiles muestra el grado de transformación de un sustrato orgánico. Para la US-EPA la estabilidad de un residuo cloacal es aquella que luego del nivel más alto de descomposición, disminuye los sólidos volátiles que se descomponen en el proceso de compostaje. El rango de transformación es usualmente expresado por la reducción de sólidos volátiles (Quiao y Ho, 1997).

El US-EPA recomienda un 38% de reducción de sólidos volátiles en el caso de lodos cloacales. Cuando estos lodos fueron tratados con *E. foetida* se logró un 37% de disminución de los sólidos volátiles después de dos meses del tratamiento. En cambio, se obtuvo un decrecimiento del 30% sin utilizar lombrices, después de cuatro meses de compostado.

Según US-EPA el vermicompuesto producido estaría clasificado como de uso restrictivo para utilizar en forestación, agricultura y rehabilitación de suelos, incluso debe evitarse su uso en jardines domiciliarios y espacios públicos urbanos.



Ventajas del baño seco con separación de orina de humus de lombriz por flujo continuo sobre los otros baños secos

Volumen y seguridad

En relación al baño seco de doble cámara y al de simple cámara sin compostaje, el volumen y el trabajo de vaciado se reduce en forma extrema. En las mediciones realizadas en un baño con *E. foetida*, el volumen se redujo en un 41% en relación a la materia seca (GEeoff Hill, 2013) produciendo humus de PH neutro, maduro, con poco amoníaco libre y abundante cantidad de nitratos. Esto último si se compara solo a la materia fecal. Si se suma la cal o la ceniza que se aplica en cada defecación, como en el caso de los baños secos de doble cámara, las diferencias de volúmenes son enormes.

Costo de infraestructura

En relación al baño de doble cámara, éste se reduce prácticamente a la mitad. Si el baño de humus de lombriz se instala pre-fabricado, el costo se reduce en forma sustancial más que el construido con material, debido a que, en general, las cámaras tienen que ser construidas con cemento armado en aquellos lugares donde sube la napa freática.)

Por otra parte, estos baños secos pre-fabricados de humus de lombriz pueden instalarse sin problemas en edificios de varios pisos, ya que solo ocupan un mínimo de espacio en el piso inferior.

Comodidad de uso y accesibilidad

Los baños de doble cámara y simple cámara necesitan mantener cargado un recipiente con cal, ceniza o aserrín, entre los materiales más usados, los que deben colocarse cada vez que se defeca. El baño de humus de lombriz tiene un mantenimiento mínimo, como se ha mencionado, por el agregado de paja, agregado de carbón pirólico y cultivo de microorganismos, con la frecuencia necesaria.

Por otro lado, los baños de doble cámara y cámara simple requieren estar elevados, tanto sea para vaciar la cámara en reposo, como para vaciar el recipiente cuando se llena, según sea el modelo. Lo que obliga que, para hacer esta maniobra, estos accesos sean a nivel del suelo. En el caso del baño de humus de lombriz, como la cantidad de humus que se retirará es mínima a lo largo de los años, es factible realizar el vaciado bajo nivel en el

baño ya pre-fabricado, debido a que por su diseño se vacía desde arriba, por lo cual es innecesario el acceso bajo nivel para vaciarlo. Otra ventaja que ofrece por estar a nivel es que puede ser utilizado por discapacitados y personas con movilidad reducida.

Seguridad con patógenos

El baño seco de humus de lombriz produce un material final en estado de humus que es mucho más seguro que el que se obtiene de los baños secos de doble cámara, de cámara simple y de compost.

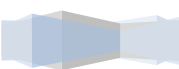
Las formas en que *E. foetida* destruye a los patógenos está basada en predación selectiva (Edward y Bohlen, 1996; Kumar y Shweta, 2011), destrucción mecánica por la acción del intestino, inhibición microbiana a través de los ácidos húmicos y colónicos y otras enzimas secretadas dentro del tracto digestivo, estimulación de microorganismos antagonistas, incluidos los géneros *Streptomyces* y *Pseudomonas* (Kumar y Shweta, 2011), e indirectamente por la estimulación de especies endémicas que compiten, antagonizan o destruyen patógenos (Edwards y Subler, 2011).

En relación a los baños secos de compost estos son menos seguros en el producto final que el baño seco de humus de lombriz. Los baños de compost rara vez pueden llegar a las temperaturas necesarias sin lograr hacer el correcto proceso de compostado y así la eliminación correcta de patógenos (Red Linger et al. 2001, Tønner-Klank et Al, 2007, Jensen et Al, 2009). Esto se verificó estudiando los diferentes modelos de baños compost de Estados Unidos y Europa.

Sobre el humus de lombriz de los baños secos puede discutirse si están o no libres de patógenos. Sin entrar a analizar en detalle cada uno de ellos, pondremos foco en el más resistente de todos y uno de los que la *E. foetida* no puede eliminar: son los gusanos redondos, comúnmente con la especie *Ascaris Lumbricoides*.

Los diferentes patógenos de bacterias y virus van desapareciendo por los procesos mencionados y además, por deshidratación y el factor tiempo. Algunos patógenos, como los huevos de *Ascaris*, son resistentes a todos estos factores y en cuanto al tiempo, en condiciones de humedad y temperatura ambiente, puede superar en el suelo los 10 años con viabilidad.

Por esta razón, el humus de lombriz puede someterse a diferentes procesos para terminar siendo un material prácticamente estéril, como la incineración y otros, pero estos necesitan de mucha energía y se pierden la mayoría de los nutrientes. En caso de que el humus de lombriz quiera ser tratado contra *Ascaris*, se propone, una vez retirado de la



cámara inferior del baño, colocarlo en un tambor pintado de negro, y ubicarlo al sol en los meses de verano durante 30 días.

Los huevos de *Ascaris lumbricoides* mueren a las dos horas a 55° C, veinte horas a 50°C y en 200 horas a 45°C (Feachem et al, 1980).

Cultivo de microorganismos y uso de carbón pirólico

La Terra Preta do Indio es el suelo antropogénico producido por culturas milenarias en el área del Amazonía, basado en la conversión de residuos orgánicos vegetales y animales, carbón pirólico y materia fecal y orina de las personas, promoviendo una vida exuberante de microorganismos. Este sistema generó una capa de suelo muy fértil, que a pesar de signos de abandono por la desaparición de la cultura, aún mantiene los mismos niveles de materia orgánica y fertilidad.

El cultivo del baño seco con microorganismos eficientes clasificados en Japón, provenientes de suelos naturales de todo el mundo, son una combinación de bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas, actinomices y otras especies de microorganismos. Estos generan un proceso de ensilado láctico sumado al efecto de microorganismos como *Bacillus subtilis* que mejora la calidad del humus. Una de las ventajas de este sistema es que la lactofermentación trabaja de manera eficiente y en forma estable sin intercambio de aire y con un proceso inodoro.

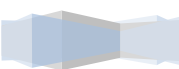
Debido a la estructura aromática policíclica del carbón pirólico que es química y microbiológicamente estable y persiste en el ambiente por centurias. Con el tiempo, el carbón se oxida parcialmente, produciendo grupos carboxilos en los bordes de las cavidades del carbón. Estos grupos carboxilos son como una trampa para nutrientes en el suelo, y previenen que estos se pierdan allí. Los nutrientes atrapados en los microporos y grietas del carbón producen no solo los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas, sino también alimento y un lugar seguro para protozoos y bacterias benéficas.

El uso de estas estrategias ancestrales dentro de la cámara del baño dinamiza los procesos de transformación, generando además un humus de increíble calidad.

Conclusión

El redescubrimiento de un sistema milenario como la terra preta, combinado con E. foetida en un sistema sanitario de bajo costo aplicado a un método eficiente de un baño seco con separación de orina, brinda la posibilidad de disponer de un baño seco de humus de lombriz de gran eficiencia y mínimo costo operativo, con amplias ventajas sobre los baños secos analizados. Este diseño puede ser práctico tanto en el campo como en la ciudad, así como en diferentes tipos de espacios públicos.

Es un baño que incorpora la mayor cantidad de elementos de la naturaleza, generando una expansión de la vida que pueda reproducir los ciclos biológicos. Es un proceso activo biológicamente, aeróbico, libre de olores, saludable y no requiere de ningún aditivo químico.



Referencias

*Asrat Yemaneh (Msc), Prof Dr-Ing. Ral Otterpohl, Institute of Wastewater Management and Water Protection, Hamburg University of Technology.

*Benítez E., Nogales R., Elvira C., Masciandaro G. and Ceccanti B. (1999) Enzyme Activities as Indicators of the Stabilization of Sewage Sludges Composting with *Eisenia Foetida*. *Bioresource Technology* 67, 297-303.

*Christopher Azaah Buzie-Fru, Development of a Continuous Single Chamber Vermicomposting Toilet with Urine Diversion for On-Site Application. TUHH, Technische Universität Hamburg-Hamburg; 2010.

*Domínguez J. And Edwards C.A. (1997) Effect of Stocking Rate and Moisture Content on the Growth and Maturation of *Eisenia Andrei* in Pig Manure. *Soil Biol. Biochem* 29, 743-746.

*Domínguez J. And Edwards C.A. (2004) Vermicomposting Organic Wastes: A review In S.H. Shakir and W.Z.A. Mikhail (eds). *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century*. El Cairo, 369-396.

*Edwards, C.A. And Bohlen P.J. (1996) *Biology and Ecology of Earth Worms*. Chapman and Hall, London.

*Edwards, C.A., and Subler, S. (2011). Human Pathogen Reduction During Vermicomposting. In Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R., (EDS). *Vermiculture Technology* (PP. 249-261). CRC Press Taylor and Francis Group, Florida.

*Geoff Hill, An Evaluation of Waterless Human Waste Management Systems at North American Public Remote Sites; University of British Columbia. GEOC 699 September 16, 2013.

*Gunadi B. Blount C. and Edwards C. (2002) The Growth and Fecundity of *Eisenia Fetida* (Savigny) in Cattle Solids Pre-Composted for Different Periods. *Pedobiología* 46, 15-23.

*Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Sherif A., Sherif M. and Boudabous A. (2001) Microbial Characterization During Composting of Municipal Solid Waste. *Bioresource Technology* 80, 217-225.

*Hill and Baldwin (2012) "Vermicomposting Toilets, and Alternative to Latrine Style Microbial Composting Toilets, Prove Far Superior In Mass Reduction, Pathogen

Destruction, Compost Quality, and Operational Cost". Waste Management Volume 32, Issue 10, October 2012, Pages 1811-2820.

*Kumar, R. and Shweta, 2011. Removal of Pathogens During Vermi-Stabilization. Journal of Environmental Science and Technology, 4 (6), 621-629.

*Larisa McNeil and Susan Baldwin, UBC Farm Urine-Separating Vermi-Composting Toilet: Its Operation and the Stability and Safety of the End-Products. University of British Columbia, Vol 400, December 31, 2013.

*Redlinger, T., Graham, J., Corella, Barua, V., ET AL., 2001. Survival of Fecal Coliforms in Dry-composting toilets. Applied and Environmental. Microbiology 67(9), 4036-4040.

*Shalabi M. (2006) Vermicomposting of Faecal Matter as a Component of Source Control Sanitation. PhD Thesis, Institute of Wastewater Management and Water Protection, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany.

*Tønner-Klank, L., 2007. Microbiological Assessments of Compost Toilets: in situ measurements and laboratory studies on the survival of fecal microbial indicators using sentinel chambers. Waste Manage. New York, NY 27, 1144–1154.

*Quiao L. and Ho G. (1997) The Effects of Clay Amendment on Composting of Digested Sludge. Wat. Res. 31, 1056-1064.

