

# ***Lombrifiltros, Alternativa Ecológica, No Convencional, para el Tratamiento de Aguas Residuales en Comunidades Non-Prasa de Puerto Rico***

*Alexander Luciano Ramos  
Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil  
Christian Villalta, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Resumen** — Actualmente en Puerto Rico existe aproximadamente 240 comunidades sin servicio de alcantarillado por parte de la AAA (Non-PRASA). Las descargas producidas por estas comunidades representan uno de los grandes factores que contribuyen a los problemas de contaminación en nuestros cuerpos de agua y a su vez atenta contra la salud pública. Es por esto que se presenta la tecnología de Lombrifiltro, como una alternativa ecológica para resolver el problema del tratamiento de aguas residuales de dichas comunidades. Es un sistema de tratamiento biológico a base de lombrices y bacterias combinado con diferentes capas de materiales filtrantes. El efluente es rociado en la superficie del biofiltro donde percola a través de dichas capas, la materia orgánica queda retenida en la primera capa donde es consumida por las lombrices, oxidándola y degradándola, este proceso genera humus. El líquido restante pasa a través de otros lechos filtrantes donde el afluente cumple con las normas de descarga y puede ser reutilizado.

**Términos Claves** — Biofiltro, Humus, Non-Prasa, Oxidación.

## **INTRODUCCIÓN**

En Puerto Rico, más de 1.5 millones de personas, cerca del 50% de la población no cuenta con servicio de alcantarillado sanitario convencional. Las descargas de aguas usadas de dichas comunidades sin alcantarillado contaminan los cuerpos de agua de nuestra isla al punto que el 99% de los embalses y el 60% de los ríos y quebradas no cumplen con las normas de la calidad de agua promulgada por la Junta de Calidad Ambiental.

Más allá del impacto significativo sobre la calidad del agua, estas descargas representan una

sería amenaza a la salud pública puertorriqueña. Existen alrededor de 240 comunidades que no reciben agua potable de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado denominadas como comunidades Non-PRASA [1], cuya fuente primaria de agua son precisamente ríos y quebradas contaminadas. Esta situación fomenta la incidencia de brotes epidémicos de enfermedades e infecciones gastrointestinales en nuestra población.

Consciente de este impacto adverso al ambiente y a la Salud Pública de esta situación, surge la necesidad de buscar algún método alternativo no-convencional que lo haga económicamente factible y que cumpla con las normas de descarga dictadas por la Junta de Calidad Ambiental.

Es por tal motivo que se presenta el sistema Tohá o mejor conocido como Lombrifiltro, como una alternativa eco-amigable que consiste en una serie de procesos que tienen como objetivo eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos que poseen estas aguas residuales. Esta tecnología de tratamiento es una alternativa relativamente económica comparada con otros procesos convencionales.

Consiste en varias capas filtrantes que permiten al efluente pasar removiendo el material contenido en el agua, permitiendo que los microorganismos y las lombrices oxiden la materia orgánica obteniendo como resultado un agua que puede ser reutilizada o devuelta a algún cuerpo de agua con algún sistema de desinfección adicional.

## **OBJETIVOS**

El objetivo de este trabajo es presentar una alternativa eco-amigable y económica que detenga las descargas de contaminantes a los cuerpos de

agua, a su vez, permitir el reúso de estas, ayudando de esta manera a conservar el uso de este recurso.

### **LOMBRIZ (EISENIA FOETIDA)**

El sistema de tratamiento de aguas residuales denominado Sistema Tohá o Lombrifiltro está conformado por distintos estratos filtrantes inertes y orgánicos. El estrato superior tiene una alta densidad de lombrices, la más usada es la californiana (*Eisenia foetida*) en simbiosis con comunidades de microorganismos (*Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Haerotilus natans*, entre otras) encargados de efectuar la degradación de la materia orgánica presente en dichas aguas.

Estas lombrices forman un ecosistema propio con el aserrín (viruta) de diferente granulometría con una temperatura entre 14<sup>o</sup> a 27<sup>o</sup> C, ideal aproximadamente 20<sup>o</sup> C y un pH neutro entre 6.5 a 7.5. Esta lombriz (*Eisenia foetida*), hermafrodita, se aparea cada siete días, de la que nacen de una a veinte lombrices, para un promedio anual de tres mil lombrices [2]. Lo que permite al sistema estar siempre nutrido de esta especie.

La lombriz se alimenta del residuo orgánico, lo equivalente a su peso, convirtiendo el 60% en humus y el 40% restante es utilizado como fuente de energía.

Para el proceso biológico involucrado en la filtración de agua a través del lecho con lombrices, los microorganismos presentes en el sustrato permiten, en más de un 50% la degradación de la materia orgánica, siendo la lombriz muy útil en la aireación, remoción y porosidad del medio, con su movimiento. De esta forma se logra un sistema de degradación de materia orgánica y purificación de aguas autosustentable, al no exigir la entrega de energía externa para su operación.

La luz directa y una humedad, mayor a 85%, puede afectar el rendimiento del sistema incluso puede matar la lombriz.

Este sistema no produce lodos inestables al degradarse la totalidad de los sólidos orgánicos del agua residual, en su lugar se obtiene humus como mencionamos anteriormente.

### **CARACTERÍSTICAS DEL BIOFILTRO**

El sistema Tohá, corresponde a una adaptación del sistema tradicional de lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos por medio de estas, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas.

En el lombrifiltro el sustrato es proporcionado a través de la presencia de este en las aguas residuales que percolan en el medio filtrante, donde se encuentran las lombrices en gran cantidad.

El tratamiento biológico que se realiza en el lombrifiltro es un tratamiento tipo aeróbico, debido al constante movimiento de la lombriz, ayuda a mantener la permeabilidad del lecho impidiendo la colmatación de éste, aumenta de forma progresiva la porosidad del medio filtrante facilitando la oxigenación producto de las constantes excavaciones que realizan con sus movimientos, en forma de túneles y canales a través de los movimientos migratorios de ésta [3].

Una característica importante de este sistema es el alto índice de absorción, debido a los movimientos giratorios de la lombriz por lo cual no permite la producción de olores desagradables y consecuentemente evitando la proliferación de vectores como moscas y otros.

También es importante destacar que una de las mayores cualidades de este sistema es su bajo costo de inversión y operación, debido a que el biofiltro requiere esencialmente solo de la construcción de algunas obras como movimiento de tierra, estanques, muros y canales de hormigón. Por otra parte tiene bajos requerimientos energéticos, ya que requiere solamente la energía necesaria para activar las bombas de la planta elevadora y los gastos del sistema de desinfección. A esto podemos añadir un beneficio adicional ya que con la producción de humus generamos un ingreso que ayuda a cubrir los bajos costos de mantenimiento.

Esta tecnología se caracteriza por su sencillez de tratamiento y su independencia de tratamientos previos, así como la no necesidad de añadir nutrientes, coagulantes u algún otro aditivo.

## ESQUEMA GENERAL

El sistema se compone, fundamentalmente, por tres capas, la primera está compuesta de aserrín o viruta de madera sobre el cual se mantiene un alto número de lombrices y permanece el humus generado por estas. La segunda capa está formada por gravilla y una última por bolones, piedras de mayor tamaño.

Previo al lombrifiltro, se encuentra una cámara de rejillas cuya función es tamizar las aguas servidas y evitar la entrada de materiales no deseados al sistema. Luego encontramos la planta elevadora que tendrá como objetivo elevar el afluente hacia los módulos para ser tratada.

Los lombrifiltros tendrán una profundidad mínima de un metro, el ancho y largo dependerán del diseño. Esta agua es regada a través de un sistema de aspersión o un dosificador de flujo, sobre un lecho compuesto por distintos estratos.

La materia orgánica es retenida y degradada en el primer medio filtrante por una población de microorganismos y lombrices adheridas al medio. Al hacer circular las aguas residuales a través del lecho de arena enriquecido con celulosa, se logra filtrar dejando retenidas partículas contaminantes.

Este proceso, desde que el agua es aplicada sobre el filtro y sale del sistema, transcurren aproximadamente 40 minutos, tiempo relativamente corto para no generar olores ni perder oxígeno suficiente para la descomposición del agua.

Por último, el efluente es llevado a una cámara de desinfección, la cual puede estar compuesta por una cámara ultravioleta o de cloración en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas. Luego de esta etapa el agua deberá cumplir con las reglamentaciones de descarga y pueden ser reutilizadas.

## DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DEL LOMBRIFILTRO

El soporte estará constituido por tres capas, como mencionamos anteriormente, la primera de ellas de aserrín o viruta, luego la grava y por último los bolones.

La primera capa debe tener por lo menos 25 cm de espesor para lograr una franja operativa necesaria para la lombriz.

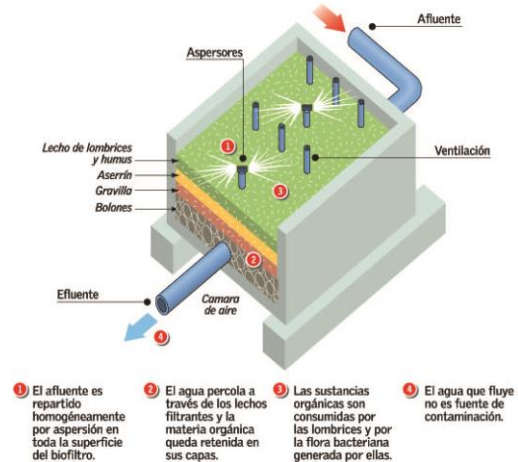


Figura 1  
Corte Esquemático del Biofiltro [4]

La segunda capa de grava y la tercera de bolones con un espesor no menor a 25 cm, las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior y las de menor en la parte superior, esta capa está destinada al drenaje y aireación del sistema. En las piedras también se forma una flora bacteriana que digiere la materia orgánica del agua que pasa por ella y que no fue retenida en la capa superior.

Entre los estratos de aserrín y arena se dispone una malla, que sirve como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y lombrices.

El piso del filtro o falso fondo, consiste en una pendiente aproximadamente de 1%, para que fluya el agua hacia la salida.

En el perímetro interno del biofiltro, se instalan tubos de PVC de 110mm de diámetro, cada 2m aproximadamente, los cuales van en forma vertical, apoyados en su parte inferior sobre la malla y su parte superior sobresale 20cm del lecho filtrante. Estos tubos se perforan con orificios de 10mm de diámetro para permitir airear el sistema.

## HUMUS

El humus aportado por la lombriz, es abono orgánico con una riqueza en flora bacteriana de prácticamente el 100%.

Tiene un aspecto similar a la tierra, suave, granulada e inodoro, alto contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y micro elementos en cantidades al menos cinco veces superiores a las de un buen terreno fértil.

Tiene un alto valor como abono orgánico por el gran contenido de nutrientes para las plantas, por lo cual representa un beneficio económico adicional al utilizar este sistema.

### MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Para el buen funcionamiento del Biofiltro se requiere realizar las siguientes labores de mantenimiento:

- Extracción de sólidos retenidos en la cámara de rejillas, se recomienda al menos una o dos veces a la semana.
- Se debe mover la viruta superficial del lecho, para mejorar la permeabilidad de este evitando aposamiento de agua, se recomienda realizarlo al menos una vez por semana.
- Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro, el sustrato debe estar en un estado de saturación, sin llegar a tener aposamientos superficiales, los cuales no son recomendados debido a que pierde la homogeneidad del sistema.
- Controlar el crecimiento de algún tipo de plantas.
- Cada cuatro meses se debe añadir viruta al lecho, ante la disminución de este estrato debido al fraccionamiento alcanzado.
- Limpieza periódica de regadores para garantizar en todo momento una uniformidad de riego en la superficie.

### EFICIENCIA

El sistema presenta una alta eficiencia en la eliminación de los parámetros contaminantes del agua. El efluente resultante se caracteriza por la remoción de [5]:

Coliformes Fecales:	99%
DBO <sub>5</sub> :	95%
Sólidos Suspendidos Totales	95%

Sólidos Suspendidos Volátiles	93%
Nitrógeno Total:	60 - 80%
Aceites y Grasas:	80%
Fósforo Total:	60- 70%

### VENTAJAS DEL BIOFILTRO

- Sistema ecológico que permite el reúso de las aguas tratadas.
- Produce biomasa y fertilizantes naturales útiles para la agricultura.
- Alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos.
- Bajos costos de operación, mantención y limpieza.
- No requiere suministros de oxígeno, el diseño contempla la aireación natural.
- No requiere usuarios expertos, la mantención y limpieza es mínima, manual y sencilla.
- El sistema no se colmata, esto por la acción constante de las lombrices que aseguran la alta permeabilidad del filtro.

### DESVENTAJAS DEL BIOFILTRO

- Requiere de grandes volúmenes de reactor para su implementación.
- No resiste periodos sin alimentación, necesidad de nutrientes.
- Requiere de un proceso de adaptación.
- No soporta variaciones grandes de carga ni caudal.
- No es recomendable para tratar grandes volúmenes de efluente.

### METODOLOGÍA DEL DISEÑO

El diseño del Lombrifiltro se basa en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que pueden digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho sin que le falte oxígeno y evitar la muerte de las lombrices, que corresponde a  $1\text{m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$ .

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1m^3/m^2/día \quad [6] \quad (1)$$

Si se conoce el caudal de diseño y asumiendo una tasa de riego deseada se puede determinar el área requerida para el tratamiento.

Como se menciona anteriormente, la eficiencia del biofiltro ha sido determinada en base a estudios de experiencias en su aplicación, llegando a determinarse que para aguas servidas el sistema permita el tratamiento de 1,000 lt/m<sup>2</sup> por día. Es decir, se necesita 1m<sup>2</sup> efectivo de biofiltro para tratar 1m<sup>3</sup> de aguas servidas.

### Ejemplo de Diseño

Como ejemplo de la aplicación del sistema de lombrifiltros para comunidades Non-Prasa, se tomó de modelo la comunidad de Collores en el municipio de Juana Díaz. Esta consta de 80 familias o viviendas, cuyo caudal de diseño se estimó siguiendo las normas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico.

**Tabla 1**  
**Comunidad de Collores Juana Díaz**  
**(Estimado de Parámetros)**

80	Viviendas
5	Personas por residencia
350 gpd	Caudal por Vivienda
28000 gpd	Caudal Diseño Comunidad p/día
106 m <sup>3</sup> /d	Caudal Diseño Comunidad p/día
4.5 m <sup>3</sup> /h	Caudal Diseño Comunidad p/hora

Según las estimaciones de esta comunidad se necesita un área efectiva de biofiltro de 106 m<sup>2</sup> para tratar las aguas residuales producidas por día.

El biofiltro será contenido en una losa de hormigón armado, con una malla en su fondo para evitar filtraciones.

Para las dimensiones del sistema, se propone, 3 módulos de 4 metros de ancho por 10 metros de largo, para un área efectiva total de 120m<sup>2</sup> de biofiltro. Cada uno de los módulos tendrá una altura de 1.5 metros.

La cámara elevadora o tanque de igualamiento de flujo deberá tener una capacidad para almacenar un flujo de 5m<sup>3</sup>/h.

La distribución del sistema se proyecta en tuberías PVC de 6in (0.15m) en sus tramos principales que irán a nivel del terreno hasta llegar a la cámara elevadora, donde se considera utilizar tuberías con un diámetro de 3in (0.08m) donde se divide en dos tramos de iguales diámetros con el fin de canalizar mejor las aguas en forma separada. Las tuberías entran a cada modulo del biofiltro y descansan en forma horizontal sobre los bolones, luego se conectan con tuberías verticales de 1in (25mm) de un metro de largo para llevar el afluente hasta los aspersores.

Se consideran válvulas de corte en todas las distribuciones del biofiltro para controlar el caudal que se repartirá a cada uno de ellos de manera de no recargar el sistema en algún tramo y facilitar el trabajo de mantención y limpieza del sistema.

Las pérdidas de carga por tramos se calculan según la fórmula de Hazen Williams:

$$J = \left( \frac{Q^{1.825}}{(0.28xC)^{1.825} x D^{4.869}} \right) \quad (2)$$

Donde:

J = Perdida de carga (m / m)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

D = Diámetro interior (m)

C = Coeficiente de rugosidad

Multiplicando la formula por la longitud se obtiene la perdida de carga en los tramos y se verifica el tramo que tiene la máxima perdida de carga.

Para determinar la altura manométrica total del sistema:

$$H_t = H_{geom} + J_t + p_{aspersores} \quad (3)$$

Donde:

H<sub>geom</sub> = Altura Geométrica

J<sub>t</sub> = Perdida mayor de carga

p<sub>aspersores</sub> = Presión mínima

Con ese cálculo establecido y con el caudal se logra estimar la potencia absorbida por la motobomba.

$$P_i = \left( \frac{\gamma \times Q \times Ht}{Fr} \right)$$

Donde:

Pi = Potencia Absorbida (KW)

$\gamma$  = Peso específico del agua

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Ht = Altura manométrica total

Fr = Rendimiento bomba (60%)

Una vez el afluente se encuentre en la superficie del Lombrifiltro, el agua tratada escurre por gravedad entre los estratos del biofiltro, aserrín y bolones hasta llegar al fondo donde el efluente es captado por tuberías de PVC y llevado por medio de gravedad hasta el último paso del sistema, la cámara de desinfección.

## COMPARACIÓN ENTRE SISTEMA CONVENCIONAL Y LOMBRIFILTRO

En la siguiente tabla se pretende comparar el sistema convencional de lodos activados y el sistema Tohá.

**Tabla 2**  
Comparativa Biofiltro vs. Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Servidas [7]

Características	Lodos Activados	Lombrifiltro
Superficie	Requiere menor superficie que lagunas de estabilización, pero mayores que el biofiltro.	Requiere muy poca superficie dado que el agua es tratada en minutos.
Equipos de control	Complejos dado que inyecta aire u oxígeno a presión.	Sencillos, ya que el sistema funciona a nivel de terreno
Costos de Operación y Mantenimiento	Para cumplir las normas de calidad y evitar la producción de malos olores utilizan elementos químicos (cloro).	No utiliza elementos químicos que dañen el medio ambiente. Su gasto energético es mínimo: costo operacional de los equipos de bombeo y

	Tiene un gasto energético importante.	cámara de desinfección.
Eficiencia del tratamiento	Es posible alcanzar la norma de agua apta para riego.	Muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Cumple con la norma de agua apta para riego y descarga a cursos de aguas.

## COMPARATIVA DE COSTOS RELACIONADOS A LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS

En la siguiente tabla, se presenta los costos promedios relacionados a diferentes tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y de este modo poder comparar.

**Tabla 3**  
Costo por Habitante según Tecnología de Tratamiento Secundario [8]

Tecnología	Costo promedio por habitante (US\$hab)
Lombrifiltro	70
Lagunas	90
Emisario submarino	100
Lodos activados Aeración extendida	130
Lodos activados Reactores Batch	180
Lodos activados convencionales	180
Sistema de medio fijo	450

## CONCLUSIÓN

Es un hecho la problemática que tenemos en Puerto Rico respecto a las comunidades Non-Prasa y la contaminación a nuestros cuerpos de aguas que estas generan y por consecuencia la amenaza a la salud pública.

Con la utilización de este sistema, se obtienen impactos muy positivos en la calidad del efluente,

ya que este tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos.

Se considera un sistema ecológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que en el proceso no se utilizan aditivos químicos, ni se producen residuos contaminantes, lo que redundaría en muy poco consumo de energía eléctrica, requerido solo para activar las bombas y el sistema de desinfección. Por lo cual si a este sistema le incluimos un sistema de placas solares convertiríamos este sistema en uno completamente autosustentable.

Por otro lado, la operación del sistema es uno simple y semejante a prácticas agrícolas de fácil asimilación.

También debemos destacar que este sistema nos provee la reutilización del agua filtrada y junto con la generación del humus, podemos tener un beneficio económico adicional.

En conclusión, este sistema es una alternativa aplicable, para estas comunidades con el cual se obtienen resultados positivos frente al medio ambiente y a la salud humana. Además de esta manera ayudamos a tomar conciencia de nuestros recursos hídricos que cada vez son más escasos y tan indispensables en el desarrollo de los seres vivos.

## REFERENCIAS

- [1] J. A. Martí, "Actualización del Inventario Sistemas de Acueductos Independientes en Puerto Rico (Non-Prasa)", San Juan, Puerto Rico, 2014.
- [2] M. Schuldt. (2014). *Manual de Lombricultura* [Online]. Disponible en: <http://www.manualdelombricultura.com>.
- [3] A. V. F. Ingeniería Ambiental. (2008). "Biofiltro Dinámico Aeróbico," *Fundación para la Transferencia Tecnológica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile* [Online]. Disponible en <http://www.biofiltro.cl>.
- [4] Imagen tomada de Fuente F. T. T., Fundación para la Transferencia Tecnológica, Universidad de Chile, 2008.
- [5] Lombricultura Pachamama, "Lombricultura; Nuestra Lombriz", Chile, 2008.
- [6] Fundación para la transferencia tecnológica. (2008). "Sistema Tohá, Tratamientos de Aguas Servidas," *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile* [Online]. Disponible en <http://www.sistematoha.cl>.
- [7] Universidad de Chile. (2013). *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental* [Online]. Disponible en <http://lauca.usach.cl>.
- [8] P. A. Baranao, "Tratamiento de Las Aguas Servidas," *Programa Asistencia Ambiental de la Asociación Chilena de Seguridad*, Santiago, Chile, 2004.