

# Autoconstrucción de sistemas de depuración de aguas cloacales

<sup>1</sup>Aramis Latchinian y <sup>2</sup>Daniel Ghislieri

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Consumo de agua y vertido de efluentes

Las aguas subterráneas más superficiales son las de mayor relevancia para el abastecimiento de agua potable en zonas rurales de Uruguay. Pero estas masas de agua son a su vez las más susceptibles de contaminación por actividades humanas.

Al estar aisladas de la luz solar y de la atmósfera, las aguas subterráneas tienen poca actividad biológica y pocas posibilidades de autodepurarse. Así, a diferencia de ríos y otros cuerpos de agua aireados, iluminados y con mayor movimiento, los efectos de la contaminación sobre las aguas subterráneas son acumulativos, hasta hacerlas no aptas para uso humano (1).

Dentro de la polución que afecta a las aguas subterráneas de las áreas rurales de Uruguay, una de las causas más importante es la infiltración de aguas cloacales carentes de tratamiento.

### 1.2. Riesgos para la salud

En América Latina el 98 % de la población carece de sistemas adecuados de saneamiento de efluentes domiciliarios y la relación de causalidad entre la contaminación de las aguas subterráneas y las enfermedades hídricas ya no es un riesgo, es un problema grave en todo nuestro continente.

Debido a esta situación, que ya se ha transformado en causal de enfermedades de transmisión hídrica y en un riesgo para la salud de poblaciones rurales, el desarrollo de sistemas alternativos de tratamiento que no contaminen las aguas subterráneas, que no afecten la salud pública, que permitan el re-uso de las aguas depuradas y que puedan ser construidos por los vecinos de la zona, es un esfuerzo muy justificable (5).

Más allá de tratar a las personas enfermas y de desarrollar campañas de educación, romper el círculo vicioso de infección y reinfección exige tomar medidas preventivas donde se inicia el problema: en el tratamiento de las aguas cloacales.

---

<sup>1</sup> Director técnico de CEADU – Centro de Estudios, Análisis y Documentación de Uruguay

<sup>2</sup> Profesor de la Facultad de Ingeniería – Universidad de la República. Uruguay

### 1.3. Sistemas convencionales de depuración

Los sistemas convencionales de tratamiento de efluentes (filtros biológicos, lodos activados, etc.) permiten depurar grandes caudales con poco requerimiento de terreno, pero a un costo de inversión, operación y mantenimiento elevados; requieren además de mucha regularidad en los caudales y en las concentraciones de los desechos que reciben.

Como alternativa a estos sistemas convencionales se han desarrollado los llamados “Sistemas Naturales” que aprovechan y potencian los procesos de purificación físicos, químicos y biológicos que ocurren en forma espontánea en la Naturaleza, con costos sensiblemente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.

### 1.4. Las plantas emergentes en la depuración de efluentes

Primero en países europeos con cuatro estaciones bien marcadas y posteriormente en los EE.UU., se comenzó a investigar en el uso de plantas emergentes de los géneros *Scirpus*, *Typha* y *Phragmites* (todas presentes en la mayoría de los países de América Latina), que se adaptan satisfactoriamente a condiciones invernales y de gran capacidad depuradora durante todo el año (3).

En los Sistemas Naturales del tipo de canales con plantas emergentes, la totalidad de las aguas cloacales que entran al sistema se depuran, transformando la materia orgánica del efluente en biomasa vegetal y obteniéndose agua con calidad de riego.

El Sistema Natural desarrollado por los autores para viviendas del área rural, es del tipo Sistema de Flujo Subterráneo (SFS), en los que todo el flujo se canaliza bajo la superficie, por lo que no habrá mal olor ni feo aspecto. Se considera que entre las plantas posibles de ser utilizadas en los SFS, la más adecuada para el caso que nos ocupa es la *Typha sp* (carrizo, enea o totora, entre otros nombres vernáculos), aunque papiros y lirios pueden acompañarla en el diseño del jardín (2).

### 1.5. Los Sistemas Naturales de depuración de efluentes

Desde hace varias décadas, gobiernos locales de muchas partes del mundo vienen diseñando e instalando con éxito, Sistemas Naturales de tratamiento de aguas cloacales, basados en el uso de plantas acuáticas de gran poder depurador (*Typha*, *Eichornia*, *Pistya*, entre otros).

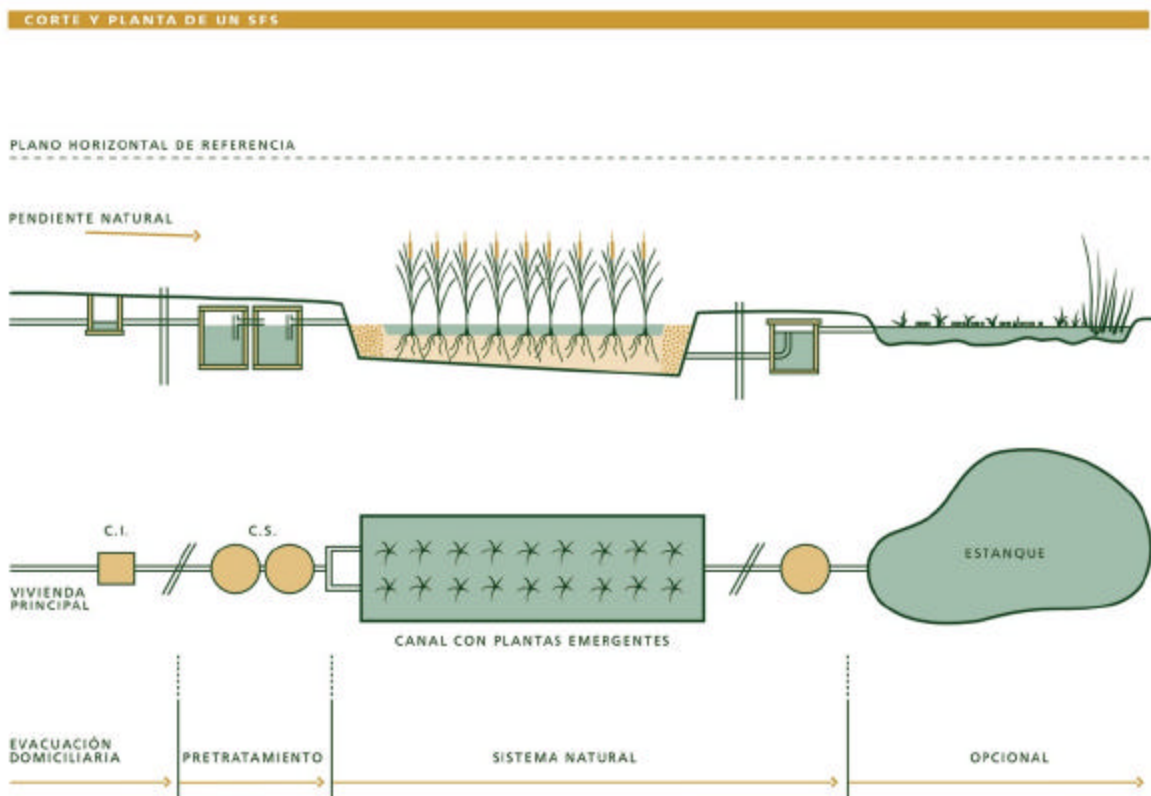
Estos sistemas, han demostrado tener una eficiencia significativamente alta en la depuración de aguas cloacales de complejos residenciales, pueblos y ciudades, en distintas regiones del mundo. En muchos casos, un aspecto importante derivado de la aplicación de estos sistemas es el re-uso del agua depurada y la obtención periódica de biomasa vegetal potencialmente aprovechable.

A mediano plazo, la instalación de estos Sistemas repercute en la calidad ambiental del entorno, razón por la cual los Sistemas Naturales son recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (E.P.A.) y otras agencias de protección del medio ambiente de distintas zonas del mundo (1).

Los principales mecanismos de depuración de aguas cloacales por parte de los Sistemas Naturales basados en plantas emergentes se pueden sintetizar en (3):

- *Eliminación de sólidos en suspensión* por retención física en el sustrato, en los rizomas y en las raíces.
- *Eliminación de materia orgánica* retenida en el sustrato, por acción de la microflora acompañante y por adsorción de las partículas de arcilla del sustrato.
- *Eliminación de nitrógeno* por absorción directa, desnitrificación microbiana y volatilización de amoníaco.
- *Eliminación de fósforo* por absorción directa, por adsorción por las partículas de arcilla y por precipitación de fosfatos insolubles.
- *Eliminación de microorganismos patógenos* debida a la acción de antibióticos producidos por las raíces de las plantas, a la transferencia de oxígeno hacia la zona de las raíces y a otras modificaciones del microhábitat radicular.

Los SFS propuestos no requieren el uso de bombas ni consumo alguno de energía eléctrica, siendo los elementos fundamentales en el proceso de depuración, la cámara de pretratamiento y el canal sembrado con plantas emergentes (Typha). Como puede verse en los croquis en corte, todo el recorrido de las aguas cloacales es subterráneo, lo que garantiza que no haya evaporación de líquidos, emisión de olores, ni otros perjuicios para el ambiente y las personas.



## 2. SFS CON PLANTAS EMERGENTES

Un sistema natural de depuración de efluentes debe cumplir cuatro condiciones sustanciales (5):

- *Prevención de enfermedades:* El sistema de depuración debe asegurar la reducción de organismos patógenos a límites seguros.
- *Protección ambiental:* El sistema de depuración debe prevenir la contaminación y proveer agua con calidad de riego.
- *Autoconstrucción y fácil mantenimiento:* Debe ser de fácil construcción y mantenimiento, considerando los límites de la capacidad técnica local y la escasez de recursos económicos.
- *Aceptable:* Se debe integrar estéticamente al entorno, respetando los valores culturales y sociales.

En síntesis, los mecanismos de depuración de las aguas cloacales en un SFS domiciliario se pueden ordenar de la siguiente forma:

- Separación física por sedimentación y flotación en la cámara de pretratamiento.
- Digestión biológica de la materia orgánica separada, en la cámara de pretratamiento.
- Retención física de los sólidos, en el substrato del canal (pedregullo).
- Digestión biológica de los sólidos retenidos, por la micro-flora intersticial del substrato.
- Adsorción y absorción de nutrientes por las plantas emergentes.
- Eliminación de patógenos por modificaciones del micro-hábitat radicular.

### 2.1. Diseño y construcción del Sistema Natural

Los autores de este artículo han diseñado e instalado Sistemas Naturales del tipo SFS en distintas localidades de Uruguay, en viviendas, establecimientos de producción lechera, escuelas rurales, complejos turísticos entre otros, consolidándose rápidamente como experiencias exitosas, mejorando la calidad de vida de las poblaciones locales (2).

Con la finalidad de facilitar la construcción del SFS los autores consideran la  $DBO_{5,20^{\circ}}$  (Demanda Bioquímica de Oxígeno) como único parámetro de diseño ya que el mismo guarda una relación suficientemente estable con los parámetros ambientales y sanitarios de interés.

A la hora de construir un SFS se deben tener en cuenta:

- Orientación geográfica que garantice la mayor cantidad de luz natural por día.
- Permeabilidad y granulometría del suelo para definir el tipo de impermeabilización a realizar en el fondo del canal.
- Existencia de raíces de árboles que puedan perforar el canal.
- Pendientes naturales del terreno para realizar el menor movimiento de tierra posible.
- Integración estética del SFS al entorno.

## 2.2. Cámara de pretratamiento

La cámara de pretratamiento tiene como finalidad principal la fragmentación y remoción parcial de los sólidos orgánicos contenidos en las aguas servidas. Esta función se realiza principalmente por sedimentación de dichas materias en la cámara, consiguiéndose así que de la misma salga un líquido sin materiales grandes en suspensión. Sin embargo, este proceso no culmina con la sedimentación, sino que ocurre un proceso de degradación biológica de los sedimentos en el interior del tanque, lo que provoca la descomposición parcial de los mismos (1).

Este proceso biológico transcurre en condiciones de ausencia de oxígeno (proceso anaerobio) y produce la transformación de la materia orgánica en compuestos solubles más simples y gases que se liberan. Estos gases pueden presentar olores desagradables, por lo que es importante que la cámara de pretratamiento posea una ventilación bien ubicada y con suficiente elevación para que dichos olores se diluyan naturalmente en el aire.

La cámara de pretratamiento se construirá en secciones o módulos, utilizando anillos de hormigón de 1,00 m de diámetro. Esta construcción modular permite agregar anillos de hormigón en forma sencilla hasta alcanzar el volumen deseado.

Para el dimensionamiento de la cámara de pretratamiento (cálculo de volumen) se considera que el tiempo de residencia hidráulica (TRH) necesario para reducir la DBO máxima esperada de las aguas cloacales (300 mg/l) a una DBO apta para ingresar al canal con las plantas emergentes (150 mg/l) en un clima templado medio es de 1,5 días (1). Así, el volumen de la cámara de pretratamiento dependerá solo del caudal de entrada (Q), según la fórmula:

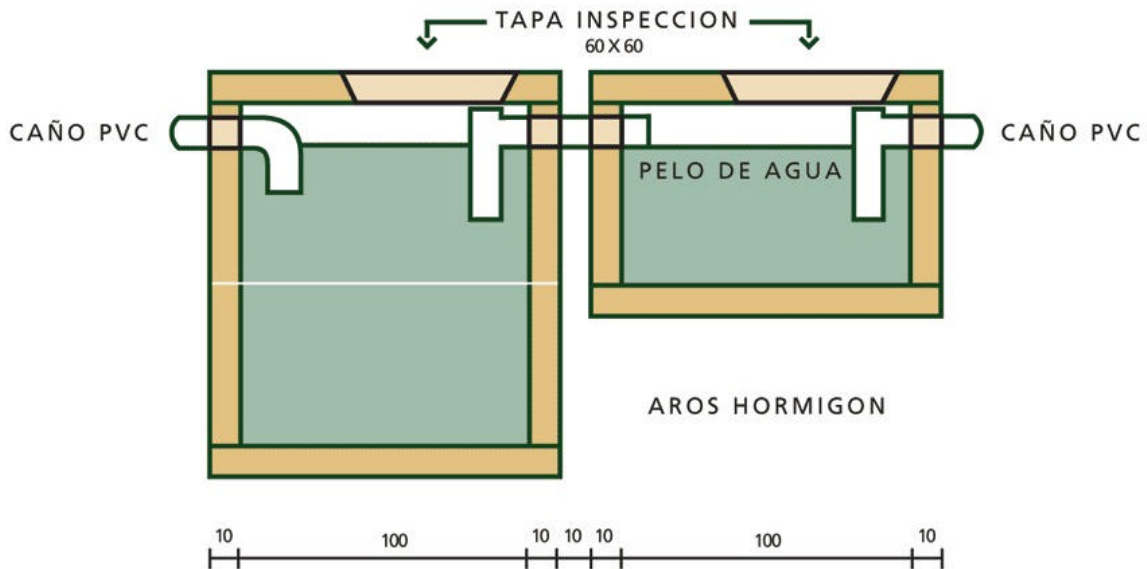
$$V = Q \times \text{TRH}$$

La cámara estará construida con cilindros de un volumen conocido (según la fórmula  $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ ), por lo que podremos determinar fácilmente la cantidad de anillos necesarios para que la cámara de pretratamiento tenga un TRH de 1,5 días y la DBO se reduzca en un 50 % (de 300 a 150 mg/l).

Tanto la comunicación entre las secciones de la cámara como la salida de la misma deberán estar provistas de "tees" conectadas como se muestra en la figura, para evitar la salida de materiales flotantes hacia el canal de depuración. Las tapas ubicadas en cada sección de la cámara deberán permitir la inspección visual de la misma, así como la limpieza o mantenimiento.

Durante el proceso de degradación de las materias sedimentadas, es posible que algunas de ellas floten, por lo que también es necesario que la cámara tenga dispositivos de retención de sólidos flotantes para evitar que éstos salgan de la misma sin culminar el proceso de degradación.

## CÁMARA DE PRETRATAMIENTO



También es indispensable que las aguas provenientes de la cocina pasen previamente a su ingreso al sistema, por una cámara de retención de grasas (grasera) y que la misma cuente con un mantenimiento adecuado (limpiezas regulares).

### 2.3. Canal con plantas emergentes

El canal de flujo subterráneo sembrado con plantas emergentes, ubicado a continuación de la cámara de pretratamiento, cumple la función de depuración final de las aguas descargadas.

Los materiales orgánicos solubles, y aquellos que se formaron durante la digestión de los sólidos sedimentados en la cámara de pretratamiento, son degradados naturalmente durante su flujo a través del lecho con *Typhas*, por el ecosistema formado en torno a las raíces de las plantas. Como resultado de este tratamiento, se obtiene agua de calidad adecuada para su reutilización en riego.

Para la construcción del lecho o canal se elegirá un lugar soleado y de ser posible con pocas raíces de árboles.

Para el dimensionamiento del canal los autores consideran la ecuación propuesta por Reed (4) para calcular el área superficial del canal, ya que la profundidad media será de 0,50 m y el ancho será la tercera parte del largo:

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o/C_e)}{K_t \cdot d_n}$$

Donde,

$A_s$  = El Área superficial del canal expresada en metros<sup>2</sup>

$Q$  = El caudal de efluente que entra al canal expresado en metros<sup>3</sup>/día

$C_o$  = La DBO de entrada al canal que será de 150 mg/l

$C_e$  = La DBO esperada<sup>3</sup> a la salida del canal, que será de 50 mg/l

$\ln C_o/C_e$  = El logaritmo neperiano de la relación entre la DBO de entrada al canal y la DBO esperada a la salida del canal

$K_t$  = La constante de temperatura, que para las peores condiciones (6 °C) es de 0,36

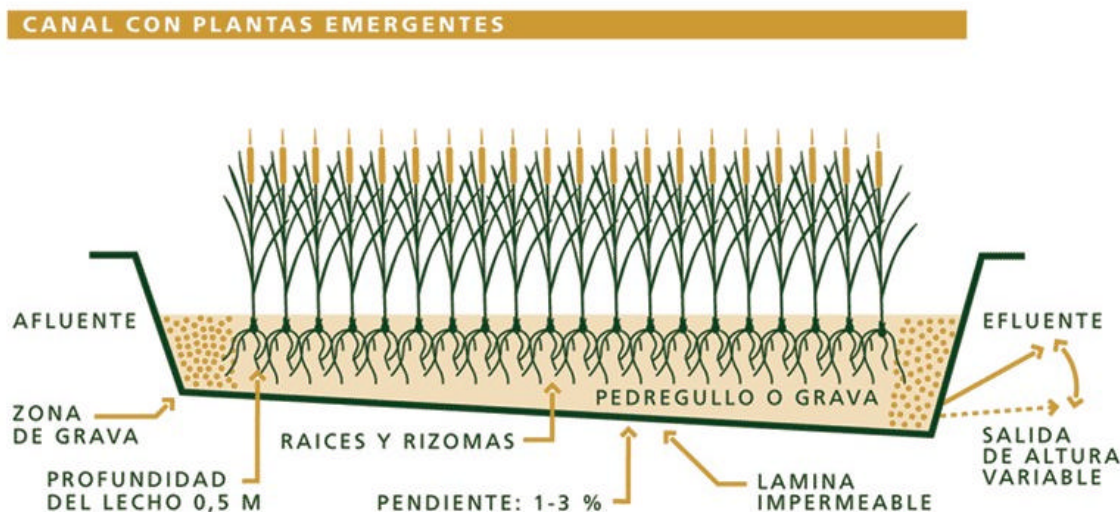
$d$  = La profundidad media del canal que se estima en 0,50 metros (pendiente de 1%)

$n$  = La porosidad del substrato que para pedregullo de diámetro medio de 16 mm es de 38 %

Así, conociendo el área superficial y sabiendo que la relación entre largo y ancho es de 3:1, podemos obtener las dimensiones del canal, despejando la fórmula:

$$A_s = L * (L/3)$$

El canal tendrá una pendiente aproximada de 1 % y a sus paredes se les dará suficiente pendiente como para evitar que se desmoronen. El canal comenzará con una profundidad de 40 cm y terminará con una profundidad siempre inferior a 0,80 metros.



Debe tenerse presente la importancia de la impermeabilización del canal, para evitar toda posibilidad de infiltración de agua hacia el terreno durante el proceso de depuración. Una vez excavado el pozo se cubrirá el fondo con una capa de 5 cm de tosca, la cual será compactada con un pisón o un rodillo. Por lo general se deberá revestir el canal (fondo y paredes) con suelo cemento o membrana asfáltica para asegurar su impermeabilidad.

<sup>3</sup> La DBO requerida para vertido a terreno o curso de agua, en la mayoría de la legislación de América del Sur oscila entre 50 y 60 mg/l.

Una vez revestido el canal y colocados los caños de entrada y de salida, el primer metro y el último metro (por 1,5 m de ancho) del canal será rellenado con canto rodado de 10 cm de diámetro aproximadamente. El resto del canal se llenará de pedregullo (de aproximadamente 1,5 cm de diámetro) hasta una altura de 35 cm.

En este lecho de pedregullo se sembrarán las plantas según se describe más adelante. Una vez que las *Typhas* hayan crecido 40 o 50 cm se rellenará el resto del canal con arena gruesa. A la salida del canal se podrá colocar un tanque de colecta si se desea emplear el agua para riego, o en su defecto se podrá realizar directamente disposición a terreno.

Las etapas del proceso de construcción se pueden sintetizar en 10 etapas claramente diferenciables:

1. Replanteo de terreno y tendido de hilos de nivel.
2. Reparaciones en cámara séptica existente o construcción de una nueva
3. Construcción de una cámara de inspección de 60 x 60 con tapa y contratapa
4. Construcción de una cámara de desagüe de 90 x 90 con tapa
5. Excavación de canal con 1% de pendiente.
6. Compactado del fondo y terraplenes del canal.
7. Colocación de membrana asfáltica o suelo cemento en fondo y paredes del canal.
8. Construcción de dos hileras de bloques perimetrales en el canal.
9. Llenado del canal con piedra, pedregullo y arena (según esquema).
10. Tendido de caños de aducción y desagüe, y arreglo paisajístico del canal

## 2.4. Transplante y mantenimiento del SFS

### a) *Extracción de plantas emergentes:*

- Se extrae la planta en el terrón con una pala, sin dañar rizomas ni cortar raíces.
- Se cortan las hojas dejando solo brotes nuevos y yemas.
- Se cortan los rizomas en trozos de aproximadamente 20 cm.
- Se enjuagan los trozos de rizoma en un recipiente con agua del lugar.
- Se los transporta en ambiente húmedo y sombreado (envueltos en papel periódico mojado).

### b) *Procedimiento de siembra:*

- Se riega abundantemente el pedregullo del canal hasta el encharcado del agua.
- Se plantan los rizomas a razón de 4 plantas por m<sup>2</sup>, en la posición en que se encontraban en su medio natural (arriba y abajo).
- Se cubren los rizomas con una fina capa de pedregullo, dejando yemas y tallos afuera.
- Se agrega agua al canal hasta inundar las raíces que salen de los rizomas.

### c) *Mantenimiento del SFS:*

- Una vez que las hojas de las plantas se hayan elevado cerca de 50 cm del nivel del canal se cubrirá la superficie del mismo con 10 cm de arena gruesa y se dejará que las plantas continúen creciendo.



- Se dejará crecer las plantas libremente, sin necesidad de realizar manejo alguno, hasta que se verifique una reducción en el caudal de salida del sistema.
- Al constatarse la reducción del caudal (obstrucción por exceso de raíces) se extraerán algunos rizomas para recuperar caudal.
- Una vez que se establezca la densidad óptima de plantas, el sistema se equilibrará siendo la cosecha muy esporádica y sólo se deberán considerar los aspectos paisajísticos.

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La sencillez constructiva de este sistema, el haber empleado una planta emergente (*Typha sp*) que se encuentra presente en todo el continente y que es fácilmente reconocible por su inflorescencia, y el haber evaluado la eficiencia en condiciones climáticas adversas (baja temperatura y fotoperíodo corto), nos hacen ver con optimismo la implantación de Sistemas de depuración como el descrito en este artículo, en distintos contextos socio-ambientales.

#### 3.1. Escalado:

La combinación de las cámaras sépticas empleadas en muchos países como tratamiento unitario, con filtros percoladores y otras formas de infiltración a terreno, fue estudiada por un equipo de especialistas de la Universidad de la República y del Centro de Estudio, Análisis y Documentación del Uruguay, obteniéndose resultados muy satisfactorios a escala experimental.


Los valores extraídos del seguimiento efectuado sobre algunos de los SFS, muestran eficiencias de remoción de coliformes fecales próximos al 99 %. Este seguimiento fue realizado durante las primeras 16 semanas a partir de la puesta en operación de dichos sistemas.

Tipo de efluente (orgánico)	Escala 1 (Experimental)	Coliformes Fecales (Entrada al SFS)	Coliformes Fecales (Salida del SFS)
		(UFC/100mL)	(UFC/100mL)
Cloacal (domiciliario)	Reactor (50 l/d)	65000 - 94000	1200 – 1600
Cloacal (escuela)	Reactor (50 l/d)	57000 – 82000	900 – 1400

Se observan valores de presencia de coliformes fecales aceptables para la utilización del agua obtenida para sistemas de riego. En el caso particular de la remoción de materia orgánica disuelta presente en el efluente cloacal, previamente tratado en la fosa séptica, se han obtenido valores de eficiencia entre el 65 y 77 %.

Tipo de efluente (orgánico)	Escala 1 (Experimental)	DBO <sub>5</sub> (Entrada del SFS)	DBO <sub>5</sub> (Salida del SFS)
		(mg/L)	(mg/L)
Cloacal (domiciliario)	Reactor (50 l/d)	120 – 175	40– 45
Cloacal (escuela)	Reactor (50 l/d)	110 – 180	35 – 50

Estos resultados fueron escalados a distintos niveles, manteniéndose una eficiencia significativa en la depuración de efluentes orgánicos.

Tipo de efluente ( <i>orgánico</i> )	Escala 1 ( <i>Experimental</i> )	Escala 2 ( <i>Unidad mínima</i> )	Escala 3 ( <i>Unidad máxima</i> )
			
Cloacal (domiciliario)	Reactor (50 l/d)	Vivienda (8 personas)	Complejo (12 cabañas)
Cloacal (escuela)	Reactor (50 l/d)	Escuela 30 alumnos	Escuela 800 alumnos
Lácteo (tambos)	Canal (700 l/d)	Tambo 100 animales	Planta industrial de lácteos

### 3.2. Impacto Sobre la salud:

Este SFS fue desarrollado en localidades con graves problemas de saneamiento (principalmente en escuelas rurales) y en todos los casos se verificó una disminución significativa de enfermedades de transmisión hídrica (virales y bacterianas).

La mayoría de las viviendas, escuelas y establecimientos rurales cuentan con una fosa séptica u otro tipo de tratamiento unitario que por estar dañado o carecer del mantenimiento adecuado es causa de impactos negativos sobre el ambiente y la salud. Estas mismas instalaciones pueden ser fácilmente acondicionadas como pretratamiento, reduciendo así, en forma significativa los costos de construcción del SFS.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ghislieri D. et al. 1999. Sistemas Naturales con plantas acuáticas: Una alternativa ambientalmente adecuada para la depuración de aguas negras. Uruguay.
- (2) Latchinian, A. et al. 2002. Jardín de totoras: Sistemas naturales de depuración de aguas servidas en escuelas rurales. Uruguay.
- (3) Martín Martínez, I. 1989. Depuración de aguas con plantas emergentes. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agrarias. España.
- (4) Reed, Sh. C. 1993. Subsurface flow constructed wetlands for waste water treatment: a technology assessment. United States Office Of Water EPA 832-R-93-008. EPA (4204).
- (5) Uno Winblad et al. 1998. Ecological Sanitation. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Estocolmo, Suecia.