

# Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración

Dayna Yocum, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara

## Información General

Un humedal construido para el tratamiento de las aguas grises por biofiltración es un humedal construido que elimina una cantidad significativa de contaminantes de las aguas grises antes de que desemboca al agua subterránea, el río, o humedal natural. La adición de patógenos, de las bacterias, y de toxinas no-biodegradables al agua de superficie pueden ser evitados con este tratamiento biológico, y así promover un ecosistema más sano y condiciones más sanitarias. El sistema puede ser construido para una sola casa o un grupo de casas, típicamente con un costo bajo.

Las aguas grises son las aguas que salen de fregaderos, de los baños, o de lavaderos; no incluyen agua de lavado, que contiene muchos más patógenos y bacterias. Típicamente las aguas grises contienen nitratos, fosfatos, jabones, sal, bacterias, espumas, partículas de alimento, materia orgánica, sólidos suspendidos, perfumes y colorantes. Las adiciones de las aguas grises a los cuerpos de agua en la superficie pueden causar desequilibrios de pH, la demanda aumentada de oxígeno (BOD) e incremento en turbidez.



Figura 1. Un sistema subterráneo típico de humedales construidos

## Funcionamiento

La figura 1 es un esquema horizontal de un sistema subterráneo típico de humedales construido para el tratamiento de aguas grises. El agua fluye de la casa u otro sistema que produce aguas grises en el nivel de grava del humedal construido. Las aguas grises pasan por el humedal lentamente; agua limpia por el humedal sale del sistema en el mismo nivel como entró. Una manguera o tubo baja el agua al suelo. Los flujos de agua al agua superficial caen por gravedad, preferiblemente a través de una senda con vegetación.

El agua que es descargada en un humedal construido para el tratamiento biológico de las aguas grises será filtrada por ambos procesos mecánicos y biológicos por las plantas en el sistema y los microbios que viven alrededor de las raíces de la planta. En los humedales subterráneos de flujo, las aguas grises fluyen por el sistema bajo

la superficie de tierra, lo cual elimina el riesgo de estancamiento y crecimiento de mosquitos. El sistema consiste en una capa delgada (5 cm) de arena cubierta por una capa gruesa (45-75cm) de grava de tamaño pequeño-medio, y con una capa delgada (5 cm) tierra . Las plantas que sobreviven bien en los humedales naturales y construidos (las aneas, las cañas, etc) son plantados en la capa superficial del suelo y las raíces crecen en el sustrato de grava. La figura 2 muestra una sección transversal de una célula de humedal construido.

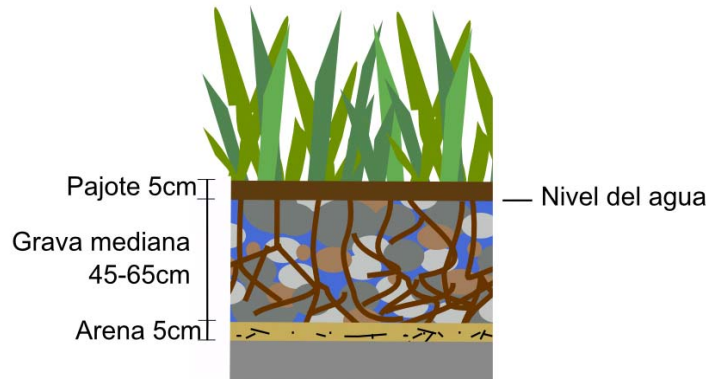


Figura 2. Sección transversal de célula de humedal construido para aguas grises

Las aguas grises entran al humedal por la gravedad y son filtradas primero por procesos mecánicos . Las plantas del humedal transfieren oxígeno a la zona sumergida de la raíz, que permite la degradación biológica de contaminantes y materias orgánicas por microbios (Figura 3). La eficiencia de la eliminación varía, pero generalmente el humedal puede eliminar una buena porción de los contaminantes de las aguas grises. La tabla 1 muestra la eficiencia observada de eliminación de BOD para humedales alrededor de Norteamérica, y en India (Crites and Tchobanoglous 1998, Tayade et al 2005). El efluente de un sistema debe ser monitoreado para determinar la eficiencia aproximada de eliminación.

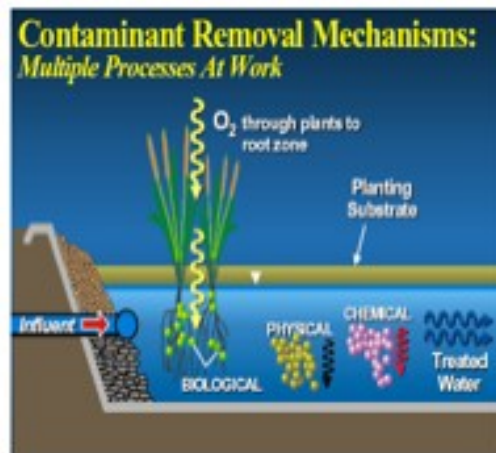


Figura 3. Los mecanismos de eliminación de contaminantes en un humedal construido (Eifert 2002)

[Table] 1. Las eficiencias observadas de eliminación de BOD para humedales tipo Subterráneos de Flujo

Ubicación	Tipo de Vegetación	Tipo de Tratamiento Primario	Tiempo de Detención	BOD, mg/L	Referencia
Benton, Kentucky		poza de oxidación	5	65%	Watson et al 1989
Mesquite, NV		poza de oxidación	3.3	68%	Crites and Tchobanoglous 1998
Sydney, Australia		Secundario	7	86%	Bavor et al 1987
Santee, CA		Primario	6	88%	Gersberg et al 1985
Mumbai	Aneas y Céspedes	Nada	N/A	85%	Tayade et al 2005

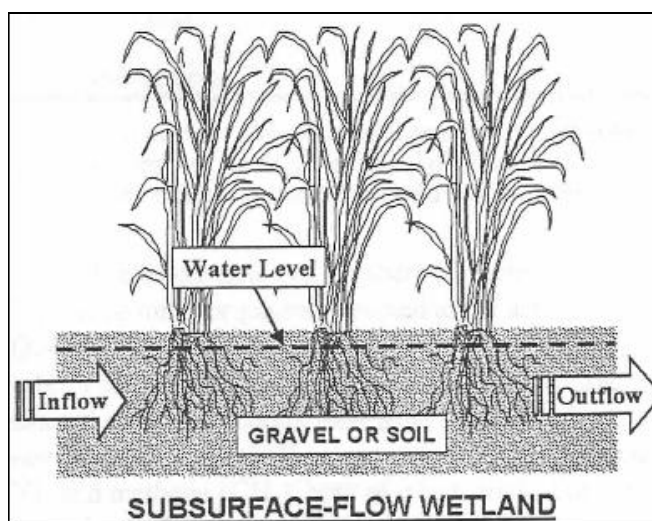


Figura 4. En un humedal subterráneo del flujo, el agua está debajo de la tierra y los flujos están por tierra o grava. Las raíces penetran en el medio de grava (la Universidad de la Extensión de Florida IFAS)

El tamaño de un humedal construido depende de la cantidad de efluente que va a entrar y de la cantidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD) que se necesita reducir. En general, 1 metro cúbico de humedal puede procesar acerca de 135 litros de las aguas grises (Jenkins 2005). Para determinar un tamaño más preciso para sistemas más grande, Crites and Tchobanoglous proponen completar una serie de cálculos para determinar el tamaño del humedal lo cual es descrito a continuación (Crites and Tchobanoglous 1998). La matriz del tamaño en la tabla No. 2 da una idea general del rango de tamaño cuando se trata de cantidades diferentes de niveles de descarga.

[Table] 2. Matriz para calibrar el tamaño de humedales de las aguas grises, variando la profundidad del sustrato, el tamaño de la descarga contribuida, y de la velocidad de reacción]. Los cálculos están basados en ecuaciones presentadas en Crites and Tchobanoglous (1998)

Descripción	Volumen de agua grises al humedal (m <sup>3</sup> /día = 1000L/día)	BOD - nivel en influente (mg/L)	Nivel de BOD deseada de efluente (mg/L)	Tiempo pasado en el humedal construido (días)	Profundidad del substrato (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Total Área (m <sup>2</sup> )
Sistema individual (una casa): asume una contribución de 240L/familia/semana para 1 familia, con una velocidad de reaccion conservadora de 1.1 y temperatura promedio inferior de 3°C	0.03	33	5	4.62	<b>0.50</b>	0.40	1.99	0.79
Sistema de varias casas: asume una contribución de 240L/familia/semana para 5 familias, con una [velocidad de reaccion] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.17	33	5	4.62	<b>0.50</b>	0.89	4.45	3.96
Pequeño sistema de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 20 familias, con una [velocidad de reaccion] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.69	33	5	4.62	<b>0.70</b>	1.68	6.73	11.31
El sistema medio de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 200 familias, con una [velocidad de reaccion] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°	6.86	33	5	4.62	<b>0.70</b>	5.32	21.27	113.14
El sistema grande de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 400 familias, con una [velocidad de reaccion] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°	13.72	33	5	4.62	<b>0.70</b>	7.52	30.09	226.28
Pequeño sistema de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 20 familias, con una [velocidad de reaccion] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.69	33	5	2.54	<b>0.50</b>	1.48	5.90	8.71
El sistema medio de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 200 familias, con una [velocidad de reaccion] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	6.86	33	5	2.54	<b>0.50</b>	4.67	18.67	87.12

El sistema grande de la comunidad: asume una contribución de 240L/ familia/semana para 400 familias, con una [velocidad de reaccion] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°	13.72	33	5	2.54	<b>0.50</b>	6.60	26.40	174.2 3
---	-------	----	---	------	-------------	------	-------	------------

Para tratar pequeñas cantidades de aguas grises (unos pocos litros por día), una alternativa a un humedal construido es simplemente de utilizar las aguas grises para regar las plantas domésticas (solamente los que no producen alimento. Esto puede ser realizado conectando un tubo o manguera a la salida del fregadero de la casa e guiar la corriente hasta donde estan sembradas las plantas, o reuniendo el agua en un cubo y utilizar el agua para verter sobre las plantas. La mayoría de las plantas tienen una tolerancia alta para las aguas grises. Si esta opción es escogida, no debe ser utilizada para regar las plantas que producen alimentos porque es posible que haya partículas de coliforme fecal en las aguas grises provenientes del agua utilizada para lavar las manos después de utilizar el cuarto de baño.



Figura 5. Un sistema de irrigación de las aguas grises de casa

### Las Situaciones Aplicables

Un humedal construido del tratamiento de las aguas grises es apropiado para uso dondequiera una cantidad grande de las aguas grises es liberada. Por ejemplo, agua de un fregadero, de área de ropa sucia, o del baño puede ser desviado fácilmente al sistema de humedal antes de que llegue al río por un tubo o una serie de tubos que extienden de la casa o lavadero. Los esquemas a continuacion demuestran un tubo que sale de una casa (a la izquierda) y un tubo que corre de una estación de lavaderos comunitario (EcoLavadero) a un humedal del tratamiento (a la derecha). El diseño completo para la estación ecológica de lavaderos puede ser encontrado en el Apéndice A de "El Diseño y la Implementación de Programas Sostenibles de Recursos de Agua en San Cristóbal de las Casas, México".

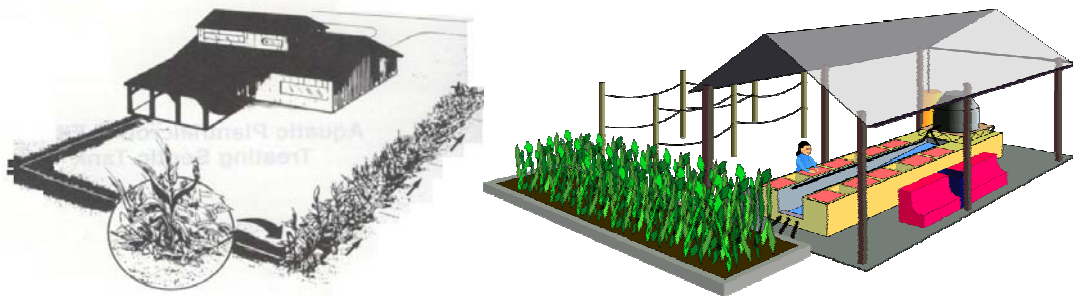


Figura 6. Un diseño para un sistema del tratamiento de la casa (a la izquierda) y un sistema ecológico del tratamiento de una estación de lavaderos comunitaria (a la derecha)

### Los Criterios

Los criterios para considerar antes de elegir un humedal construido como una facilidad de tratamiento de las aguas grises se mencionan a continuación:

- El agua debe estar disponible durante todo el año para mantener las plantas y las bacterias vivas
- Los flujos grandes (causado por la lluvia torrencial) puede agobiar el sistema, y debe ser desaguado en el caso de una tormenta grande hasta que el agua esté debajo de la superficie de tierra
- Las aguas grises deben fluir naturalmente vía gravedad en el humedal o plantas domesticas
- El agua debe quedarse en el sistema por un promedio de 2-10 días (Jenkins 2005; Crites and Tchobanoglous 1998) para permitir el tratamiento por plantas
- Las aguas grises no deben estancarse (para evitar el crecimiento de mosquitos)
- Las plantas de un humedal natural local pueden ser trasplantadas para el uso en el humedal construidos (recomendados), o pueden ser comprado en un vivero local.
- Una pared o capa impermeable debe rodear el humedal entero para prevenir que las aguas grises salgan antes de ser tratadas completamente. El desagüe apropiado permitirá que el agua salga del sistema después del tratamiento

### El propósito

Un sistema de filtración biológica de las aguas grises puede servir las funciones siguientes:

- Proporciona una manera sanitaria para desechar las aguas grises de casa
- Previene los olores desagradables de las aguas grises estancadas
- Previene la sobrecarga de alimento nutritivo de aguas superficiales
- Previene la contaminación de agua subterránea y superficial

### La localización/ubicación

Para decidir en una ubicación para el sistema del tratamiento de las aguas grises, es importante considerar lo siguiente:

- Un sistema de filtración biológica de aguas grises debe ser ubicado para que reciba directamente el flujo efluente
- La exposicion total al sol es ideal para un humedal construido

- Se recomienda una pendiente de aproximadamente 0.5% (Crites and Tchobanoglous 1998) para humedales construidos donde el flujo pasa subterráneamente. El agua puede fluir por la tierra, por el agua, y por el medio de plantas por la gravedad; después de que haya viajado la longitud completa del humedal, puede ser liberada en un campo abierto para la infiltración, o si la carga suficientemente ha sido reducida lo suficiente, puede descargar en el agua de superficie. Busque un sitio que ya tiene una pendiente semejante para minimizar los esfuerzos necesarios para modificar el sitio
- Deben considerarse el uso de suelo y su acceso para futuro mantenimiento.
- Esté seguro que el dueño del terreno pueda mantener la instalación de un sistema de tratamiento de aguas grises en su propiedad, o que la comunidad entera este a favor de un sistema construido en un área pública
- No construir el sistema del tratamiento de aguas grises en un humedal preexistente.
- Los permisos de la descarga pueden ser requeridos para devolver el agua tratada al sistema.

### Consideraciones para el tamaño

Para determinar el tamaño de un sistema biológico grande de filtración, se debe primero determinar la temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto ( $^{\circ}\text{C}$ ), la cantidad de BOD producido actualmente, y el nivel de BOD deseado para el agua que sale del sistema. Se puede probar el cálculo con la profundidad variando de 55 a 85 centímetros para encontrar un tamaño apropiado. Por ejemplo, si hay una restricción en el área de terreno disponible para el humedal construido, una profundidad de 85 cm aminorará la huella del sistema. Estos cálculos están basados en la reducción de BOD, pero pueden estar adaptados para la reducción del nitrato por modificar los factores en el cálculo de la constante de [velocidad de reacción]. Típicamente, sin embargo, los niveles de nitrógeno en las aguas grises son mucho menos que en las aguas negras, y debe concentrar más la reducción de BOD.

El enfoque siguiente para el cálculo del tamaño de la célula de humedal ha sido adaptado del libro por Crites' y Tchobanoglous', llamado *Small Decentralized Wastewater Treatment Systems*. Una aplicación de este cálculo puede ser encontrada en el Manual del Diseño del EcoLavadero Ecológico en : "Diseño y Implementación de Programas Sostenibles de Recursos de Agua en San Cristóbal de las Casas, México".

Determinar la temperatura media mínima mensual del ambiente,  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), en que el sistema trabajará (por ejemplo, la temperatura media para enero).

Calcular la constante de [velocidad de reacción],  $k_T$  ( $\text{día}^{-1}$ ) para BOD en la temperatura apropiada que utiliza la ecuación siguiente. La constante de [velocidad de reacción] en  $20^{\circ}\text{C}$  ( $k_{20}$ ) varía dependiendo del sistema. Un rango de valores ha sido utilizado en libros que indican el diseño de humedales construidos de flujos subterráneos. Un valor  $K$  más grande indica la descomposición más rápida de BOD. En el libro por Crites y Tchobanoglous (1998), una fuente de de información bien establecida, estima un ( $k_{20}$ ) de  $1.1 \text{ día}^{-1}$ , mientras Tchobanoglous y Burton (1991) estima un ( $k_{20}$ ) de  $1.35 \text{ día}^{-1}$  para humedales construidos para el tratamiento de aguas negras. Un estudio en Suecia (Olsen et al 1967) demostró que la [velocidad

de reaccion] para humedales de las aguas grises fue 4.5 veces más alto que la [velocidad de reaccion] para humedales para tratar las aguas grises debido a la disponibilidad más abundante de materia orgánica no procesada. Estos valores son basados en el desempeño del humedal, y no pueden ser obtenidos exactamente hasta que el sistema es construido y monitoreado. Se recomienda utilizar un valor conservador (bajo) por esta figura porque mucho del tratamiento depende de la actividad de los microorganismos en el humedal, que no puede ser determinado antes de la construcción. Más investigación es necesaria para mejor caracterizar la [velocidad de reaccion] y parámetros de diseño ideales.

[Ecuación 1] 
$$k_r = k_{20} (1.06^{(T-20)})$$

Calcule el tiempo de detención  $t$  (día), el tiempo que el agua debe quedarse en el sistema para alcanzar el nivel de BOD deseado, con la ecuación

[Ecuación 2] 
$$t = \frac{-\ln(C / C_o)}{k_r},$$

Dónde  $C_o$  es la concentración del BOD del agua que entra el sistema ( $\text{mg/L} = \text{g/m}^3$ ) y  $C$  es la concentración de BOD deseada del agua ( $\text{mg/L} = \text{g/m}^3$ ) que sale del sistema, o la meta. Las estimaciones típicas de los valores de BOD de [runoff] son mostrados en [Table] 2. Una meta razonable es de 3-7  $\text{mg/L}$ ; un humedal construido puede disminuir los niveles de BOD, pero no los puede eliminar.

[Table] 3. La concentración de BOD estimada para [non point source loading] de varios usos de tierra (Benaman 1996)

Tipo de uso de tierra	Urbano – Residencial y Negocios	Residencial	Agricultura	Abierta/Pastura	Bosque	Humedales Naturales	Agua	Árido
BOD (mg/L)	9	15	4	6	6	6	0	13

Verifique la [organic loading rate],  $L_{org}$  ( $\text{g BOD/m}^2\text{-día}$ ), con la ecuación siguiente. Este número indicará la masa de BOD por área por día que el sistema recibirá. En general, la [organic loading rate] no debe exceder  $11.2 \text{ g BOD/m}^2\text{-día}$ . Este umbral no será excedido con afluente aplicado hasta 5 cm por día. Casi todos los sistemas de humedales construidos de aguas grises tendrán una [organic loading rate] debajo de este umbral.

[Ecuación 3] 
$$L_{org} = \frac{(C)(d_w)(\eta)}{t}$$

Nuevamente,  $C$  es el nivel de BOD ( $\text{mg/L} = \text{g/m}^3$ ) del agua influente,  $d_w$  (m) es la profundidad del sustrato, que puede ser típicamente de 0.4 m a 0.85 m. Entre más profundo se encuentre el sustrato, mayor será la carga que el sistema puede procesar, pero si el sustrato es demasiado profundo, las condiciones en el fondo llegan a ser anaerobias y pueden resultar en la eliminación reducida del BOD y de nutrientes. Utilice el tiempo de detención calculado previamente en la Ecuación 2 ( $t$ ). La porosidad efectiva del sustrato,  $H$ , es definida como la proporción del volumen no-sólido al volumen total de la materia, sin dimensión, y puede ser determinado [Table] 3 según el tamaño de grava escogido.

[Table] 4. Los valores típicos de sustratos de humedales construidos (Crites and Tchobanoglous 1998). \* $d_{10}$  es el diámetro de una partícula en una distribución del peso de las partículas que es más pequeña que todo salvo 10% de las partículas

Sustrato	tamaño efectivo $d_{10}^*$ , mm	Porosidad efectiva $\eta$
Arena (media)	1	0.3
Arena (grueso)	2	0.32
Arena con grava	8	0.35
Grava (media)	32	0.4
Grava (grueso)	128	0.45

Determine el área de terreno necesaria para la cama del humedal construido de flujo subterráneo ( $\text{m}^2$ ),

[Ecuación 4] 
$$A_s = \frac{(Q_{ave})(t)}{(\eta)(d_w)}$$

Dónde  $Q_{ave}$  es el flujo diario medio por el humedal ( $\text{m}^3/\text{día}$ ),  $T$  es el tiempo de detención calculado arriba (día), y  $d_w$  es la profundidad del medio (m). Utilice el mismo valor para  $\eta$  determinado en la ecuación 3. Para sistemas más grande, puede ser útil convertir el área a hectáreas que utilizan la conversión de 1 hectárea = 10,000  $\text{m}^2$ .

Y finalmente, para calcular las dimensiones del humedal del tratamiento (m), utilice la expresión siguiente:

[Ecuación 5] 
$$w = \left( \frac{A_s}{R_A} \right)^{1/2}$$

Dónde  $w$  igual al ancho (m),  $A_s$  es el área del humedal ( $\text{m}^2$ ), y  $R_A$  es la proporción, como longitud/ancho. Para humedales construidos de flujo subterráneos, los autores

Crites and Tchobanoglous (1998) recomiendan que la proporción esté entre 2:1 y 4:1, pero Salte et al. (1998) no encontró una diferencia significativa de la reducción de nutrientes ni BOD en tres humedales construidos de 25m<sup>2</sup> tratando efluente doméstico con proporciones de aspecto que recorren de 4:1, 10:1, y 30:1 sobre un período de dos años (Dallas 2005).

La longitud,  $L$ , del humedal construido (m) puede ser calculado por la expresión:

[Ecuación 6] 
$$l = \frac{A_s}{w} .$$

### Las Materiales

Los humedales construidos de aguas grises pueden ser construidos sobre la tierra o debajo de la tierra dentro de una célula de bloques de concreto o otro tipo de cubierta impermeable. El tamaño de la célula afectará el costo del sistema.

<b>Materiales</b>
Cemento
Bloques de concreto
Tubos (de PVC o metal) (entrada)
Tubos (de PVC o metal) (salida)
Malla fina de plástico
Cubierta impermeable
Válvula (para desaguar la célula)
Arena
Grava
Cubierta de paja
Vegetación (de un humedal natural local)

## Vegetación

Todas clases de plantas actúan sobre los contaminantes de la misma manera . Todas plantas pueden utilizar los nutrientes y BOD en las aguas negras y grises hasta cierto punto. Sin embargo, relativamente pocas plantas prosperan en las aguas negras o grises que tiene altas niveles de nutrientes y BOD, que son típicos de los humedales construidos (Mitch and Gosselink 2000). Hay unas pocas plantas que son utilizados normalmente para humedales de biofiltration de las aguas grises, muchos de los cuales pueden ser encontrados en humedales naturales.

Las plantas encontradas en humedales naturales cerca del área escogida para el humedal construido son muy beneficiosas ya que estan adaptadas al clima local . Si estas plantas no pueden adquirirse localmente, cualquier planta de humedal que crezca bien puede estar utilizada. La figura 6 muestra las plantas comunes del humedal descrito abajo.

- Las aneas (*Typha spp.*) son fuerte, fácil de propagar, y capaz de producir una biomasa anual grande. Típicamente quitan cantidades grandes del nitrato y del fosfato.
- Juncos (*Schoenoplectus spp.*, *Scirpus spp.*) crecen en grupos y crecen bien en agua que tiene una profundidad de 5 cm a 3 m. Estas plantas agresivas logran una eliminación alta de contaminantes.
- Céspedes de caña (*Phragmites australis*) son plantas altas con raíces profundas, que permiten más oxígeno a alcanzar la zona de raíz que las dos plantas descritos previamente.



Figura 7. (De la izquierda a la derecha) las Aneas, los Juncos, y Césped Común de Caña

## Pasos de construcción y consideraciones del diseño

El humedal construido debe ser construido siguiendo los siguientes pasos generales. Muchos materiales diferentes pueden ser utilizados para construir el humedal del tratamiento, así que los diseños locales pueden variar.

1. Identifique una ubicación para el humedal que conecta a la corriente de las aguas grises.
2. Calcule el tamaño del humedal construido que se planea construir (véase los calculos previos).
3. Gradúar el fondo de la célula para que tenga una pendiente de 0.5%. La disminución resultante en la altura de una célula de 10 m es 0.05 m ( $10 \text{ m} * 0.5 \div 100 = 0.05 \text{ m}$ ), o 5 cm (véase la Figura 8).

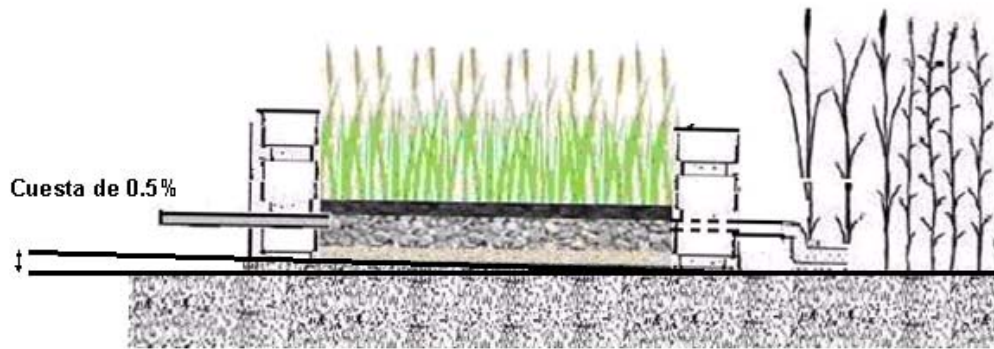


Figura 8. La cuesta de la inundación de humedal debe estar acerca de 0.5%

4. Construya la celda de humedal sobre la tierra con bloques de cemento y concreto, u otra materia impermeable, permitiendo el espacio para conectar la corriente de las aguas grises a la celda del humedal vía la entrada (véase el paso 6). Alternativamente, el humedal puede ser construido en el suelo que utiliza un recubrimiento impermeable. Esto tiene la desventaja de que no se puede desaguar la celda. La celda debe ser impermeable, ya que las grietas o los hoyos en el recubrimiento pueden contaminar la agua subterránea.
5. Incorporar una válvula de drenaje en el fondo de la celda en el lado al fondo de la pendiente. La válvula servirá para bajar el nivel del agua para motivar el crecimiento de las raíces de las plantas.
6. Incorporar la entrada de las aguas grises.
  - Las aguas grises deben ser distribuidas uniformemente en el área de la entrada para promover infiltración igual en el humedal justo debajo de la capa de paja.
  - Para sistemas más pequeños de humedal, un tubo perforado o una serie de tubos pueden servir este propósito (Figura 2).
  - Para sistemas de humedales construidos más grandes, [gated] tubos, [slotted] tubos, o depresiones con [V-notched weirs] pueden distribuir el agua por una entrada ancha.
  - Asegura una malla de plástico fina sobre la apertura para evitar que se tape. (véase la Figura 9).
7. Cree un tubo de salida.
  - El tubo debe estar a la misma altura que la entrada - apenas debajo del nivel de paja.
  - Instale filtro de malla fina de plástico para prevenir que el piso y la grava pasen por el tubo, causando posibles estancamientos..

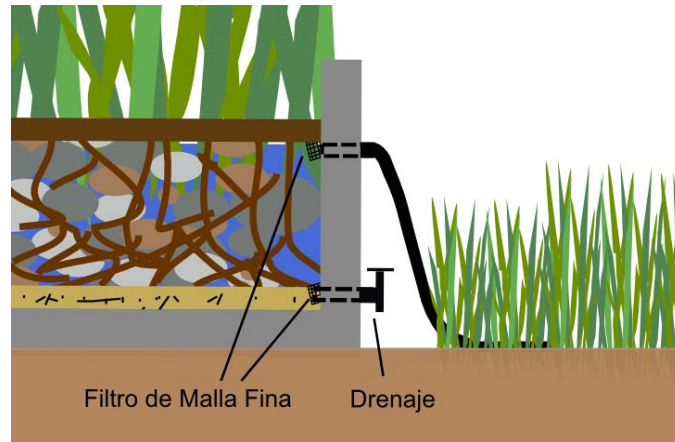


Figura 9. Una ilustración de los filtros de malla fina de plástico en las salidas.

8. Aplique una capa de arena gruesa de 5 cm de espesor en el fondo de la célula.
9. Coloque una capa de grava encima de la capa de arena. El tamaño de la grava en los primeros 50 cm de entrada y los últimos 50 cm a la salida debe ser de aproximadamente 5 cm en el diámetro; esto reduce el riesgo de obstruir la entrada o salida, en caso de que los sólidos suspendidos lleguen a en estas áreas. En todas partes del resto del sistema, el tamaño de grava deberá estar entre 0.5 y 3 cm. Aplique un 45 a 75 cm capa de grava. La profundidad de grava variará según los cálculos previstos.
10. Ponga una capa de pajote o tierra rico de 5 cm de espesor.
11. Colecte y siembre plantas de un humedal natural local (recomendado) o de un vivero, Cuando se usan plantas de un humedal natural local, la planta completa debe de estar transplantada (hojas, tallo, raíces, retoños) más un poco de la tierra. Se puede jalar la planta de un humedal local por el base, y debe tener cuidado que no se quiebren los tallos. Los tallos (la parte que no esta sumergida en el agua) pueden ser cortados a aproximadamente 20 cm.
  - La parte con la raíz debe ser colocada aproximadamente 5 cm debajo de la capa de paja o tierra orgánica en el humedal construido. Los aneos deberá ser colocadas con una distancia de 1 m entre cada planta; los carrizos, juncos, y espadañas pueden ser plantadas a 15 cm de distancia (Mitch and Gosselink 2000).
  - Con tiempo, es importante realizar una zona de raíces consistente. Se puede realizar esto bajando el nivel de agua gradualmente para motivar que las raíces crezcan mas profundo.
12. Sature el piso con agua hasta la superficie (no más) y permita que se evapore lentamente, manteniendo el suelo húmedo durante todo el período de propagación , aproximadamente 2-3 meses.
  - Después de que plantas se hayan establecido, utilice el desague para ajustar el nivel del agua en la célula para alentar la penetración más profunda de raíz de la planta en el medio de grava.
  - Finalmente las raíces de la planta se extenderán al fondo de los sustratos. Las plantas deben establecerse bien antes de que se empiece

a tratar las aguas grises. Si no se puede esperar hasta que se establecen completamente, aquellas plantas que mueran pueden ser sustituidas.

13. El agua efluente debe salir en el nivel del suelo y fluir al agua de superficie por un área con vegetación o llena con piedras. Una manguera puede ser conectada a la salida para bajar el agua al nivel del piso. Un camino puede encauzar el efluente a infiltrarse en el suelo hacia al agua de superficie, potencialmente ganando la ventaja adicional del tratamiento por los microbios en el suelo antes de que el agua alcance el agua de superficie. Ya que el agua efluente no es potable, es importante que el agua no salpique cuando llegue el suelo, ya que contaminantes residuales pueden causar enfermedades si ingerido. Se reduce también la erosión del área recipiente.

### **El mantenimiento**

Los humedales de tratamiento de aguas grises requieren mantenimiento limitado.

- El ajuste de la profundidad de agua para alentar el crecimiento de raíz de planta: El nivel del agua siempre debe ser mantenido debajo de la capa de pajote. Esto será regulado naturalmente por el sistema de entrada-salida si es construido en la altura correcta. Durante el crecimiento inicial de la planta, el desagüe puede servir para bajar el nivel del agua para alentar la penetración más profunda de raíz de planta en el sustrato de grava. Finalmente las raíces de planta deben extenderse al fondo de los medios.
- Vegetación: Las aguas grises no son tóxicas a plantas, así que la vegetación prosperará en este ambiente rico en nutrientes. No es necesario para cosechar las plantas de humedal, sin embargo, si las plantas están muy marchitas aún con agua suficiente, pueden sufrir de una sobrecarga de contaminantes y debe ser reemplazadas. Si muchas plantas marchitan, deben ser reemplazados con otras plantas.
- Limpieza Periódica: La malla en la entrada y la salida debe ser limpiada para prevenir la obstrucción por sólidos suspendidos y grava.
- Monitoreo de la calidad del agua: es recomendado que se monitoree periódicamente los niveles de nutrientes y BOD para estimar la reducción e identificar los problemas potenciales. Una institución local de laboratorio o investigación puede ayudar a organizar un programa de monitoreo.

### **Las Limitaciones potenciales**

- Obstrucción de la entrada y la salida: Algunos humedales construidos están susceptibles a obstrucciones debido a sedimentos que entran en los tubos y previenen el flujo. Esto puede ser prevenido instalando la malla fina o trampas recomendadas para sólidos grandes en la entrada del tubo.
- Las especies invasivas: Es importante no introducir las especies de plantas de humedales que son compradas para los humedales construidos en viveros en humedales naturales. Algunas especies de plantas son más agresivas que otras y pueden dominar un humedal natural, matando las especies nativas. Es importante evitar esto para mantener la diversidad natural de las especies.
- Derrames durante una tormenta puede causar que los sólidos que se asentaron previamente se liberen hacia las aguas de superficie. Esto debe ser evitado permitiendo que la salida esté siempre abierta, y manteniendo el humedal en su nivel de agua natural.



## Referencias

- Benaman, Jennifer, Neal Armstrong, and David Maidment. Modeling of Dissolved Oxygen in the Houston Ship Channel Using Wasp5 and Geographic Information Systems. Austin, Texas: Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, 1996.
- "Cattail Image." Ed. cattail.gif: Purdue University Agricultural and Biological Engineering.
- Bavor, H.F, D.J. Roser, and S.A. McKersie. "Nutrient Removal Using Shallow Lagoon-Solid Matrix Macrophyte Systems." Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Eds. K.R. Reddy and W.H. Smith. Orlando, FL: Magnolia Publishing, 1987. 228-36.
- Bounds, H.C., et al. "Effects of Length-Width Ratio and Stress on Rock-Plant Filter Operation." The Small Flows Journal 4.1 (1998): 4-14.
- "Bulrush Image." Ed. bulrush.jpg: Traders Creek.
- Crites, Ronald, and George Tchobanoglous. "Small and Decentralized Wastewater Management Systems." Water Resources and Environmental Engineering (1998).
- Dallas, Stewart C. "Reedbeds for the Treatment of Las aguas grises as an Application of Ecological Sanitation in Rural Costa Rica, Central America." Murdoch University, Western Australia, 2005.
- Eifert, W. "Applications of Constructed Wetland Treatment Technology." Proceedings of the Brownfields 2002 Conference (2002).
- Gersberg, R.M., et al. "Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands." Water Research 20 (1985): 363-67.
- Jenkins, Joseph. Humanure Handbook. Chelsea Green Publishing, 2005.
- Mitsch, William J., and James G. Gosselink. Wetlands. 3rd Edition ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2000.
- Olson, E. et al. "Residential Wastewater." The Swedish National Institute for Building Research, 1967.
- Tayade, Sandeep T., et al. "Feasibility Study of Constructed Wetland for Treatment of Municipal Wastewater." The Global Directory of Environmental Technology, ECO Services International, 2005.
- Torbé, Małgorzata. "Common Reed Image." Ed. z\_0171n.jpg.
- Tchobanoglous, George, and Franklin L. Burton, eds. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw-Hill, Inc., 1991.
- University of Florida IFAS Extension . "Subsurface Flow Wetland Diagram." Ed. 296682164.jpg: University of Florida IFAS Extension.
- Watson, J.T., et al. "Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands." Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Ed. D.A. Hammer. Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1989. 319-51.