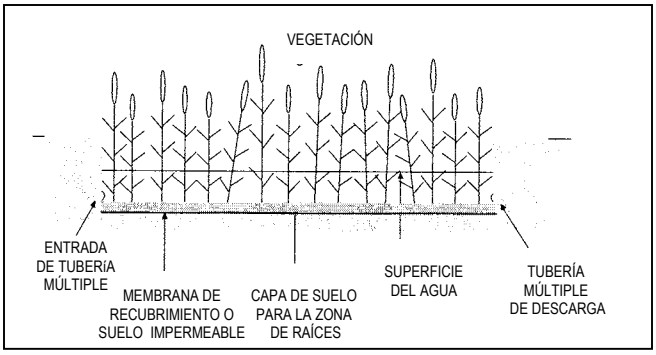
United States Environmental Protection Agency
Office of Water Washington, D.C.
EPA 832-F-00-024 Septiembre de 2000

Folleto informativo de tecnología de aguas residuales
Humedales de flujo libre superficial

DESCRIPCIÓN

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS, *free water surface wetlands*) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. La mayoría de los humedales naturales son sistemas FLS entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas emergentes). La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construídos los beneficios de calidad del agua y hábitat. La mayoría de los humedales artificiales FLS son praderas inundadas, pero se tienen también algunos ejemplos de fangales y zonas pantanosas. En los humedales FLS el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal. Un diagrama de un humedal FLS se presenta en la Figura 1.

Existen pocos ejemplos del uso de humedales naturales para tratamiento de aguas residuales en los Estados Unidos. Dado que toda descarga a humedales naturales debe cumplir con los requisitos del permiso de descarga del Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (*National Pollutant Discharge Elimination System*, NPDES), estos humedales se usan normalmente para tratamiento avanzado o refinamiento terciario. Las metas de diseño de



Fuente: Adaptado de un dibujo de S.C. Reed, 2000

FIGURA 1 HUMEDAL DE FLUJO LIBRE SUPERFICIAL

los humedales construídos van desde un uso dedicado exclusivamente a las funciones básicas de tratamiento hasta sistemas que proporcionan tratamiento avanzado y/o en combinación con mejoras del hábitat de la vida silvestre y oportunidades para la recreación pública. El tamaño de los sistemas de humedales FLS va de pequeñas unidades para tratamiento en el sitio de efluentes de tanques sépticos hasta grandes unidades de más de 16,888 hectáreas (40,000 acres). En la actualidad un extenso sistema es utilizado para tratar el fósforo en escorrentía pluvial agrícola en Florida. Los humedales en operación en los Estados Unidos diseñados para

el tratamiento de aguas residuales tienen un rango de menos de 3,785 litros por día (1,000 galones por día) hasta más de 75,708 m^3/d (20 millones de galones por día).

Los humedales artificiales FLS consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófita emergente seleccionada. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales FSL incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.). En sistemas diseñados principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. La cubierta vegetal producida por la vegetación emergente da sombra a la superficie del agua, previene el crecimiento y persistencia del agua y reduce la turbulencia inducida por el viento en el agua que fluye por el sistema. Quizás aún más importante son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los ramales erguidos de las plantas muertas, y los detritos acumulados del crecimiento vegetal previo. Estas superficies sumergidas proporcionan el sustrato físico para el crecimiento de organismos perifíticos adheridos que son responsables por la mayoría del tratamiento biológico en el sistema. La profundidad del agua en las porciones con vegetación de estos sistemas va desde unas pocas pulgadas hasta más de dos pies.

El afluente a estos humedales se distribuye sobre un área extensa de agua somera y vegetación emergente. La lenta velocidad que se produce y el flujo esencialmente laminar proporcionan una remoción muy efectiva del material particulado en la sección inicial del sistema. Este material particulado, caracterizado como sólidos suspendidos totales (SST), contiene componentes con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO), distintos arreglos de nitrógeno total y fósforo total, y trazas de metales y compuestos orgánicos más complejos. La oxidación o reducción de esas partículas libera formas solubles de DBO, nitrógeno total y fósforo total al medio ambiente del humedal en donde están disponibles para la absorción por el suelo y la remoción por parte de las poblaciones microbianas y vegetales activas a lo largo del humedal. El oxígeno está disponible en la superficie del agua, en microzonas de la superficie de plantas vivas y en superficies de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica en el humedal. Se puede asumir, sin embargo, que la mayor parte del líquido en el humedal FLS es anóxico o anaeróbico. Esta falta general de oxígeno limita la remoción biológica por nitrificación del amoníaco (NH_3/NH_4 - N) , pero los humedales FLS sí son efectivos en cuanto a la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas.

Si la remoción de nitrógeno y/o la mejora de hábitat de vida silvestre son un objetivo del proyecto, debe considerarse el alternar zonas someras con vegetación emergente con zonas más profundas (más de 1.83 m o dos pies) que contengan vegetación sumergida seleccionada. Las zonas de mayor profundidad proporcionan una superficie de agua expuesta a la atmósfera para la reaireación, y la vegetación sumergida proporciona oxígeno para la nitrificación. Las zonas más profundas también atraen y retienen una gran variedad de vida silvestre, en particular patos y otras aves acuáticas. Este concepto, utilizado en Arcata, California, y en Minot, North Dakota, puede proporcionar un tratamiento excelente durante todo el año en climas cálidos, y en forma estacional en climas más fríos en los cuales se presentan bajas temperaturas y formación de hielo. El tiempo hidráulico de retención (HRT) en cada una de estas zonas de superficie del agua expuesta debe

limitarse a aproximadamente tres días para prevenir la re-emergencia de las algas. Estos sistemas siempre deben iniciarse y terminar con zonas someras de vegetación emergente para asegurar la retención y el tratamiento de material particulado y para minimizar la toxicidad a la vida silvestre en las zonas de agua expuestas. El uso de humedales construídos FLS ha aumentado significativamente desde finales de la década de 1980. Estos sistemas se encuentran distribuídos extensamente en los Estados Unidos y se encuentran en cerca de 32 estados.

Modificaciones comunes

En los Estados Unidos es rutinario el proporcionar algún tipo de tratamiento preliminar antes del humedal FLS. El nivel mínimo aceptable es el equivalente al tratamiento primario, el cual puede lograrse con tanques sépticos, tanques Imhoff para sistemas de tamaño pequeño, o con lagunas profundas con un tiempo corto de retención. Cerca del 45 por ciento de los sistemas de humedales FLS en operación usan lagunas facultativas como tratamiento preliminar, pero los humedales han sido también utilizados como continuación de otros sistemas de tratamiento. Por ejemplo algunos de los sistemas FLS de mayor tamaño, ubicados en Florida y Nevada, fueron diseñados para el pulimiento de efluente terciario producido por plantas de tratamiento terciario avanzado.

Sistemas de humedales FLS de retención completa del agua, sin descarga han sido usados en zonas áridas de los Estados Unidos en donde el agua se pierde completamente por la combinación de la percolación y la evapotranspiración. En estos sistemas se debe prestar atención a la acumulación a largo plazo de sales y otras substancias que pueden convertirse en tóxicas para la vida silvestre o las plantas en el sistema. Mientras que es imposible excluir la vida silvestre de los humedales FLS, es prudente el minimizar su presencia hasta cuando la calidad del agua sea cercana al nivel de tratamiento secundario. Esto puede lograrse limitando las zonas de agua expuesta en el trayecto final del sistema y usando masas densas de vegetación emergente en la porción inicial del humedal. El seleccionar vegetación con poco valor alimenticio para los animales o las aves también puede ser útil. En los climas más fríos, o en donde no se cuenta con áreas extensas, se pueden diseñar sistemas de humedales de menor tamaño para la remoción de DBO/SST. La remoción de nitrógeno pueden lograrse con un proceso separado. Sistemas de humedales en Kentucky y Louisiana han integrado con éxito filtros percoladores de grava para la nitrificación del amoniaco en el agua residual. Humedales FLS de operación estacional también han sido utilizados en climas muy fríos en los cuales el agua residual es retenida en una laguna durante los meses de invierno para su descarga al humedal a un caudal controlado durante los meses más cálidos del verano.

APLICABILIDAD

Los humedales FLS requieren un área relativamente extensa, especialmente si se requiere la remoción del nitrógeno o el fósforo. El tratamiento es efectivo y requiere muy poco en cuanto a equipos mecánicos, electricidad o la atención de operadores adiestrados. Los sistemas de humedales pueden ser los más favorables desde el punto de vista económico cuando el terreno está disponible a un costo razonable. Los requerimientos de terreno y los costos tienden a favorecer la aplicación de la tecnología de humedales FLS en áreas rurales.

Los sistemas de humedales FLS remueven en forma confiable la DBO, la demanda química de oxígeno (DQO) y los SST. También pueden producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo con tiempos de retención suficientemente largos. Los metales son también removidos eficazmente y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales. Además de las aguas residuales domésticas, los sistemas de FLS son usados para tratamiento del drenaje de minas, escorrentía pluvial urbana, desbordes de drenajes combinados, escorrentía agrícola, desechos ganaderos y avícolas y lixiviado de rellenos sanitarios, y para efectos de mitigación. Debido a que el agua está expuesta y es accesible a personas y animales, el concepto de recibir agua residual parcialmente tratada puede no ser adecuado en el caso de viviendas individuales, parques, áreas de juego, o instalaciones públicas similares. Para estas aplicaciones un humedal de grava de flujo subsuperficial puede ser una mejor opción.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Se enumeran a continuación algunas de las ventajas y desventajas de los humedales FLS.

Ventajas

- Los humedales FLS proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores adiestrados.
- Los humedales FLS pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos. La operación a nivel de tratamiento terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semi-cálidos.
- Los sistemas de humedales proporcionan una adición valiosa al "espacio verde" de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para recreación pública.
- Los sistemas de humedales FLS no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.

Desventajas

- Las necesidades de terreno de los humedales FLS pueden ser grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno o fósforo.
- La remoción de DBO, DQO y nitrógeno en los humedales son procesos biológicos y son esencialmente continuos y renovables. El fósforo, los

metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.

- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación. Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la reducción en esas tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.

- La mayoría del agua contenida en los humedales artificiales FLS es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco. El aumento del tamaño del humedal y, consecuentemente, el tiempo de retención puede hacerse en forma compensatoria, pero puede no ser eficiente en términos económicos. Métodos alternos de nitrificación en combinación con los humedales FLS han sido utilizados con éxito.

- Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades pueden ser un problema.

- La población de aves en un humedal FLS puede tener efectos adversos si un aeropuerto se encuentra localizado en la vecindad.

- Los humedales artificiales FLS pueden remover coliformes fecales del agua residual municipal, al menos en un orden de magnitud. Esto no siempre es suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La situación puede complicarse aun más debido a que las aves y otras especies de vida silvestre producen coliformes fecales.

CRITERIOS DE DISEÑO

Los modelos publicados sobre el diseño de la remoción de contaminantes en humedales FLS han estado disponibles desde finales de la década de 1980. Trabajos más recientes han sido compilados en tres libros de texto que presentan modelos de diseño de humedales FLS (Reed, et al 1995, Kadlec & Knight 1996, Crites & Tchobanoglous, 1998). Los tres modelos se basan en reacciones cinéticas de primer orden para flujo en pistón pero dan resultados diferentes debido a que diferentes bases de datos fueron utilizadas. La organización *Water Environment Federation* (WEF) presenta una comparación de las tres metodologías en el libro Manual de Práctica para Sistemas Naturales (WEF, 2000). Otra comparación puede encontrase en el manual de diseño de sistemas de humedales de la U.S. EPA (U.S. EPA, 2000). Este manual también incluye los modelos de diseño desarrollados por Gearheart y Finney. El diseñador de sistemas de humedales FLS debe consultar esas referencias para seleccionar el método que mejor se ajuste al proyecto en consideración. Una estimación preliminar de los requerimientos de terreno para humedales FLS puede obtenerse de los valores en la Tabla 1 para las tasas típicas de carga superficial presentadas a continuación. Estos valores también pueden ser utilizados para revisar los resultados de otras referencias.

El contaminante que requiere la mayor área para su remoción determina el tamaño del área de tratamiento del humedal, la cual corresponde a la superficie del fondo de las celdas del

humedal. La distribución del flujo de agua residual en toda la superficie debe ser uniforme para que esta área sea efectiva en un 100 por ciento. Esto se hace posible en humedales artificiales mediante un gradiente del fondo cuidadosamente seleccionado y el uso de estructuras apropiadas de entrada y descarga. La distribución uniforme del flujo es más difícil en los humedales naturales que se utilizan para tratamiento o pulimiento del efluente porque estos normalmente retienen su configuración y topografía existentes; esto puede dar como resultado un flujo en corto circuito. Estudios con rastreadores de tinta en este tipo de humedales han mostrado que el área efectiva de tratamiento puede ser tan reducido como el 10 por ciento del área total del humedal. El área total del humedal debe ser dividida por lo menos en dos celdas, con excepción de los sistemas de menor tamaño. Los sistemas de mayor tamaño deben tener al menos dos trenes de celdas paralelos para tener flexibilidad de manejo y mantenimiento.

Los sistemas de humedales son ecosistemas vivos en los cuales los ciclos de vida y muerte de la biota producen residuos que pueden ser medidos en función de DBO, SST, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. Como resultado, y en forma independiente del tamaño del humedal o las características del afluente, en estos sistemas siempre existen concentraciones naturales de esos materiales. La Tabla 2 resume esas concentraciones naturales.

Debido a que la remoción de la DBO y las varias formas de nitrógeno dependen de la temperatura del agua, la temperatura del humedal debe conocerse para lograr un diseño adecuado. La temperatura del agua en sistemas con un tiempo hidráulico de retención largo (mayor a 10 días) se acerca a la temperatura promedio del aire, excepto en periodos de invierno cuando se presentan temperaturas bajo cero grados. Los métodos para calcular la

TABLA 1 TASAS TÍPICAS DE CARGA SUPERFICIAL

Constituyente	Concentración típica del afluente (mg/L)	Meta de tratamiento del efluente (mg/L)	Tasa de carga contaminante (libra/acre/día)
Carga hidráulica (pulgadas por día)	0.4 a 4**		
DBO	5 a 100	5 a 30	9 a 89
SST	5 a 100	5 a 30	9 a 100
Nitrógeno como NH_3/NH_4	2 a 20	1 a 10	1 a 4
Nitrógeno como NO_3	2 a 10	1 a 10	2 a 9
Nitrógeno total	2 a 20	1 a 10	2 a 9
Fósforo total	1 a 10	0.5 a 3	1 a 4

TABLA 2 CONCENTRACIONES "NATURALES" EN HUMEDALES FLS

Constituyente	Rango de concentración
DBO (mg/L)	1 a 10
SST (mg/L)	1 a 6
Nitrógeno total (mg/L)	1 a 3
Nitrógeno como NH_3/NH_4 (mg/L)	menos de 0.1
Nitrógeno como NO_3 (mg/L)	menos de 0.1
Fósforo total (mg/L)	menos de 0.2
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	50 a 500

Fuente: U.S. EPA, 2000.

temperatura del agua en humedales con HRT más cortos pueden ser encontrados en las referencias publicadas que se mencionaron anteriormente.

Debido a que las plantas vivas y los detritos representan una resistencia significativa al flujo por la fricción a lo largo del humedal, se deben considerar los aspectos hidráulicos en el diseño del sistema. La ecuación de Manning es aceptada en general como el modelo del flujo de agua en los humedales FLS. La información descriptiva al respecto puede consultarse en las referencias citadas anteriormente. La resistencia al flujo impacta la configuración seleccionada para las celdas del humedal: entre más larga sea la trayectoria de flujo, más grande será la resistencia. Para evitar problemas de tipo hidráulico, se recomienda un cociente máximo entre longitud y el ancho de 4 a 1.

DESEMPEÑO

Un humedal FLS con una carga moderada puede lograr los niveles de efluente "naturales" que se presentan en la Tabla 2. En general, los humedales artificiales FLS se diseñan para producir una calidad dada de efluente. La Tabla 1 puede utilizarse para calcular en forma preliminar el tamaño requerido del humedal para producir una calidad de efluente deseada. Los modelos de diseño en las publicaciones referenciadas proporcionan una estimación más precisa del área de tratamiento requerida. La Tabla 3 resume el desempeño real de 27 sistemas de humedales FLS incluidos en una Evaluación de Tecnología recientemente publicada (U.S. EPA, 2000).

TABLA 3 RESUMEN DEL DESEMPEÑO DE 27 SISTEMAS DE HUMEDALES FLS

Constituyente	Promedio en el afluente (mg/L)	Promedio en el efluente (mg/L)
DBO_5	70	15
SST	69	15
Nitrógeno como NTK	18	11
Nitrógeno como NH_3/NH_4	9	7
Nitrógeno como NO_3	3	1
Nitrógeno total	12	4
Fósforo total	4	2
Fósforo disuelto	3	2
Coliformes fecales (#/100 mL)	73,000	1,320

Fuente: U.S. EPA, 2000.

En teoría el desempeño de un sistema de humedales puede estar influenciado por factores hidrológicos. Tasas elevadas de evapo-transpiración (ET) pueden aumentar las concentraciones en el efluente pero también aumentar el HRT del humedal. Tasas altas de precipitación pluvial pueden diluir la concentración de contaminantes pero también reducir el HRT del humedal. En la mayoría de las zonas templadas con un clima moderado estos efectos no son críticos para el desempeño adecuado. Estos aspectos hidráulicos sólo deben ser considerados para valores extremos de ET y precipitación.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los requisitos de operación y mantenimiento (O/M) rutinarios de los humedales FLS son similares a los de las lagunas facultativas. Estos incluyen el control hidráulico y de profundidad del agua, la limpieza de las estructuras de entrada y descarga, el corte de la hierba en bermas, la inspección de la integridad de las mismas, el manejo de la vegetación del humedal, el control de mosquitos y vectores de enfermedades (de ser necesario), y el monitoreo rutinario.

La profundidad del agua en el humedal puede requerir ajuste periódico según sea la estación o en respuesta al aumento a largo plazo de la resistencia por la acumulación de detritos en el canal del humedal. Los mosquitos pueden requerir control dependiendo de las condiciones y requisitos locales. Las poblaciones de mosquitos en el humedal de tratamiento no debe exceder el de los humedales naturales cercanos.

El manejo de la vegetación en estos humedales FLS no incluye el corte rutinario y la disposición del material podado. La remoción de contaminantes por parte de la vegetación es un mecanismo relativamente insignificante de manera que el corte y la remoción rutinaria no proporciona un beneficio significativo en cuanto al tratamiento. La remoción de detritos acumulados puede ser necesaria si se presentan restricciones severas del flujo. En general, esto no ocurre si los canales del humedal han sido construídos con un cociente alto entre la longitud y el ancho (mayor de 10 a 1). El manejo de la vegetación puede incluir también el control de la vida silvestre, dependiendo del tipo de vegetación seleccionada para el sistema. Se sabe de casos en los cuales animales tales como las nutrias y el ratón almizclero (*muskrat*) han consumido toda la vegetación emergente de humedales artificiales FLS.

Se requiere un monitoreo rutinario de la calidad del agua en todos los humedales FLS que tengan permisos de descarga del NPDES, en los cuales se especifican los contaminantes y la frecuencia de monitoreo. El muestreo para los permisos de NPDES normalmente está limitado a agua residual no tratada y al efluente final del sistema. Dado que el componente de humedales normalmente está precedido por alguna forma de pretratamiento, el programa de monitoreo del NPDES no documenta las características del afluente a los humedales. Se deben recolectar y analizar periódicamente muestras del afluente en todos los sistemas, excepto los de menor tamaño, para proporcionar al operador un mejor entendimiento del desempeño del humedal y una base para hacer ajustes de ser necesarios.

COSTOS

Los principales elementos que se incluyen en los costos de inversión de los humedales FLS son similares a los de sistemas de lagunas, incluyendo el costo del terreno, la evaluación del sitio, la limpieza del mismo, la movilización de suelos, el recubrimiento, el medio de

sembrado, las plantas, las estructuras de entrada y descarga, las cercas, tuberías misceláneas, la ingeniería, los costos legales, las contingencias, y los gastos fijos y ganancia del contratista. El recubrimiento pueden ser el elemento más costoso. Por ejemplo, una membrana lineal se podría acercar a un cuarenta porciento de los costos de construcción. En muchos casos la compactación de suelos nativos "in-situ" proveen una barrera suficiente para la contaminación subterránea.

TABLA 4 COSTOS DE INVERSIÓN Y DE O/M PARA UN HUMEDAL FLS CON UNA CAPACIDAD DE 100,000 GALONES POR DÍA

	Costo, $*	
Elemento	**Recubrimiento de suelo natural**	**Recubrimiento de membrana plástica**
Costo del terreno	$16,000	$16,000
Evaluación del sitio	3,600	3,600
Limpieza del sitio	6,600	6,600
Movimiento de tierra	33,000	33,000
Recubri-miento	0	66,000
Suelo para siembra	10,600	10,600
Plantas	5,000	5,000
Sembrado	6,600	6,600
Estructuras de entrada y descarga	16,600	16,600
Subtotal	$98,000	$164,000
Costos de ingeniería, legales, etc.	$53,800	$95,100
Costo total de inversión	**$154,800**	**$259,100**
Costos de O/M, $/año	$6,000	$6,000

La Tabla 4 presenta los costos para construcción de un humedal FLS hipotético de 378,500 L/d (100,000 galones/d) para lograr una concentración de 2 mg/L de amoníaco en el efluente. Otros supuestos de cálculo son los siguientes: NH_3 afluente = 25 mg/L; temperatura del agua 20°C (68°F); profundidad del agua = 0.46 m (1.5 pies); porosidad = 0.75; área de tratamiento = 1.3 hectáreas (3.2 acres); y costo del terreno =$12,355/ hectárea ($5,000/acre).

TABLA 5 COMPARACIÓN DE COSTOS DE UN HUMEDAL FLS Y UN SISTEMA CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

	Proceso	
Elemento de costo	**Humedal**	**SBR**
Costo de inversión ($)	259,000	1,104,500
Costo de O/M ($)	6,000/año	106,600/año
Costo total a valor presente* ($)	322,700	2,233,400
Costo por 1000 galones de agua tratada** ($)	0.44	3,06

* El factor de valor de valor presente es de 10.594 con base en un periodo de 20 años y 7 por ciento de interés.
** El caudal diario para 365 días por año por 20 años, dividido por 1000 galones.

Fuente: Water Environment Federation, 2000.

La Tabla 5 presenta una comparación de costos del ciclo de vida útil de este humedal con el de un sistema convencional de tratamiento de reactor secuencial por tandas (*sequencing batch*

reactor, SBR) diseñados para el mismo caudal y calidad de efluente.

REFERENCIAS

Otros folletos informativos relacionados

Humedales de Flujo Subsuperficial
EPA 832-F-00-023
Septiembre del 2000

Otros folletos informativos de la EPA se pueden obtener en la siguiente dirección de Internet: http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm

1. Crites, R.W. and G. Tchobanoglous, 1998, *Small and Decentralized Wastewater Management Systems,* McGraw Hill Co., New York, NY.

2. Kadlec, R.H. and R. Knight, 1996, *Treatment Wetlands,* Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

3. Reed, S.C.; R.W. Crites; and E.J. Middlebrooks, 1995, *Natural Systems for Waste Management and Treatment – Second Edition,* McGraw Hill Co, New York, NY.

4. U.S. EPA, 2000, *Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment,* U.S. EPA, OWM, Washington, D.C.

5. U.S. EPA, 2000, *Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment,* U.S. EPA, CERI, Cincinnati, OH.

6. Water Environment Federation, 2000, *Natural Systems for Wastewater Treatment,* MOP FD-16, WEF, Alexandria, VA.

INFORMACION ADICIONAL

Billmayer Engineering
J.J. Billmayer
191 Third Avenue East
Kalispell, MT 59901
City of Ouray
Carl Cockle
P.O. Box 468
Ouray, CO 81427

Joseph Ernest
Associate Engineer
P.O. Box 5015
Freemont, CA 94537-5015

Humbolt State University
Dept. of Environmental Resource Engineering
Dr. Robert Gearheart
Arcata, CA 95522

Mississippi Gulf Coast Regional Wastewater Authority
William Rackley
3103 Frederick Street
Pascagoula, MS 39567

La mención de marcas registradas o productos comerciales no significa la aprobación ni recomendación por parte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Para más información contáctese con:

Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C., 20460