

Propuesta para un Proyecto Piloto: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas Negras en la Colonia Cinco de Marzo, San Cristóbal de las Casas, México

Karen Setty, Bren School of Environmental Science and Management,
University of California, Santa Barbara

Información General

Los humedales construidos representan un método natural y comparativamente barato para el tratamiento de las aguas negras. Esta tecnología ha tenido múltiples aplicaciones entre las que se encuentran los desagües ácidos de las minas, y sistemas de filtración de las aguas negras y grises desde el nivel municipal al nivel doméstico. La purificación del agua ocurre por varios mecanismos a medida que el agua fluye por el humedal. Estos incluyen filtración y depósito por fenómenos físicos de sólidos, recepción biológica de nutrientes, y la degradación microbiana de contaminantes. Los humedales construidos con el propósito de tratar las aguas negras, o aguas que contienen orina o heces, a menudo tienen en paralelo un tanque séptico que es diseñado para quitar la mayoría de los sólidos y permitir el flujo sin restricción de agua por el humedal. El tamaño de estos sistemas depende de la velocidad del volumen y del flujo de la corriente entrante de las aguas negras. Comparado a otras tecnologías del tratamiento de las aguas negras, los humedales construidos son casi siempre más económicos de construir y mantener. Además, estos pueden ser adaptados funcionalmente a muchas zonas climáticas diferentes.

Esta Propuesta de Proyecto Piloto proporcionará una vista general de lo que se requiere para instalar y manejar un humedal construido para el tratamiento de flujos combinados de agua residual de casas de la colonia Cinco de Marzo, localizada cerca de la periferia sur de San Cristóbal de las Casas en Chiapas, México. Primero, la conveniencia de este sistema será discutida, seguida por la determinación del tamaño del humedal y la clarificación de pasos de construcción. Este documento acompaña y expande sobre la información en el manual del diseño: "Los Humedales construidos para el Tratamiento de Agua Negra".

¿Qué es un humedal construido?

Los humedales construidos son diseñados para imitar las funciones de los humedales naturales. Los humedales naturales son áreas que tienen vegetación adaptada a la inundación periódica. Estos a menudo existen en áreas bajas y adyacentes a cuerpos de agua, tal como los ríos o los lagos. Los humedales son una parte importante del paisaje, desde que proporcionan muchos servicios de ecosistema, tal como mitigación de inundación y purificación de agua. Los humedales construidos proponen utilizar estas características naturales de purificación en el tratamiento de las aguas negras. Consisten en un sustrato, generalmente grava, arena, o tierra, y plantas de humedal. Las plantas ayudan a purificar el agua que reciben con nutrientes y otros contaminantes, mientras sus raíces proporcionan el hábitat para microorganismos útiles que digieren los patógenos más perjudiciales presentes en las aguas negras. Un esquema de un humedal construido y poza de estabilización se muestra a continuación. (Figura 1).

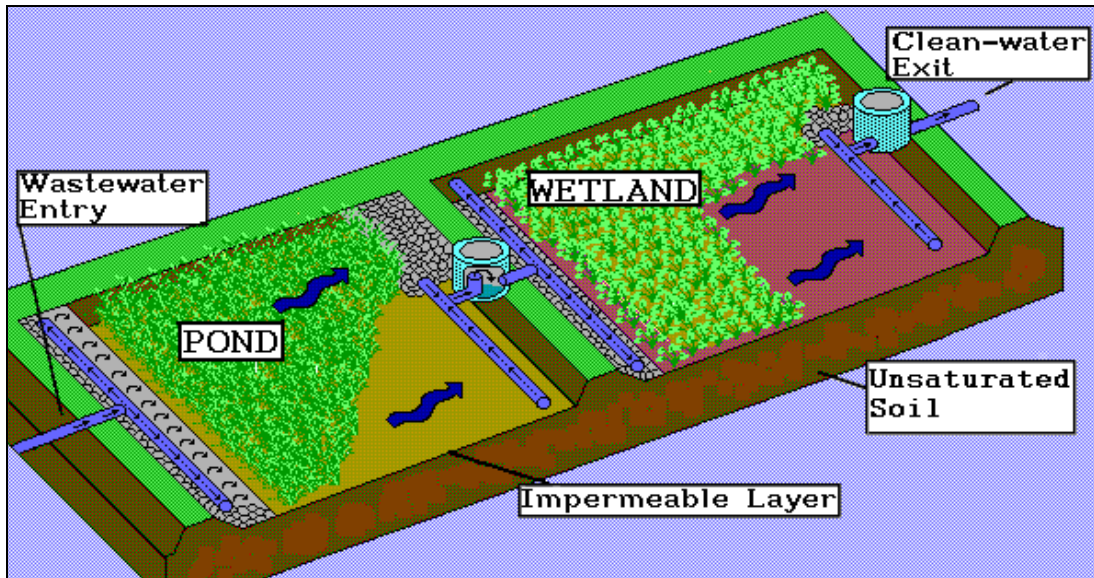


Figura 1. Esquemático de un humedal construido y charca de estabilización para el tratamiento de las aguas negras

El uso de un recubrimiento impermeable debajo del humedal es un factor importante. Las aguas negras contienen muchos patógenos, o microorganismos que causan enfermedades. Así, las aguas negras no deben tener contacto con otras aguas del suelo ni de la superficie hasta después de que han sido tratados por el humedal. El tiempo entre cuando una gotita de agua entra y sale del sistema se llama “el tiempo de detención”. Es durante este tiempo que muchos de los patógenos perjudiciales se eliminan. El desagüe de un humedal construido no debe estar utilizado para el consumo humano ni otras necesidades, ya que no alcanza los estándares de alta calidad. Sin embargo, es suficientemente limpio para liberarse directamente en el medio ambiente, y es muy probable que la calidad de agua supere la calidad de agua en corrientes cercanas.

La aplicación

Cinco de Marzo es un vecindario que fue construido en las afueras meridionales de la ciudad de San Cristóbal de las Casas (Figura 2). No es incorporado como una entidad jurídica dentro de la ciudad, y por eso la colonia no recibe los servicios básicos tales como agua y saneamiento. En este momento, varios factores políticos previenen incluir esta área para que se le provea de servicio de agua por medio de SAPAM. Las aguas negras de algunas casas más viejas (acerca de $\frac{1}{3}$) en el fin septentrional de la colonia son conectados a un desagadero de alcantarilla debajo de la calle. Las casas en el fin meridional más nuevo de la colonia, acerca de $\frac{2}{3}$ del vecindario, no tienen cualquier conexión de alcantarilla. Muchos de éstos utilizan simplemente letrinas de hoyo. Las aguas negras descargadas de la alcantarilla salen en el humedal natural al lado de la colonia (Figura 3). Esta área es terreno federal y crea un búfer entre la colonia y el Río Navajuelos (Figura 4). Un camino mayor, Avenida Insurgentes, bordea la orilla oriental de la colonia.

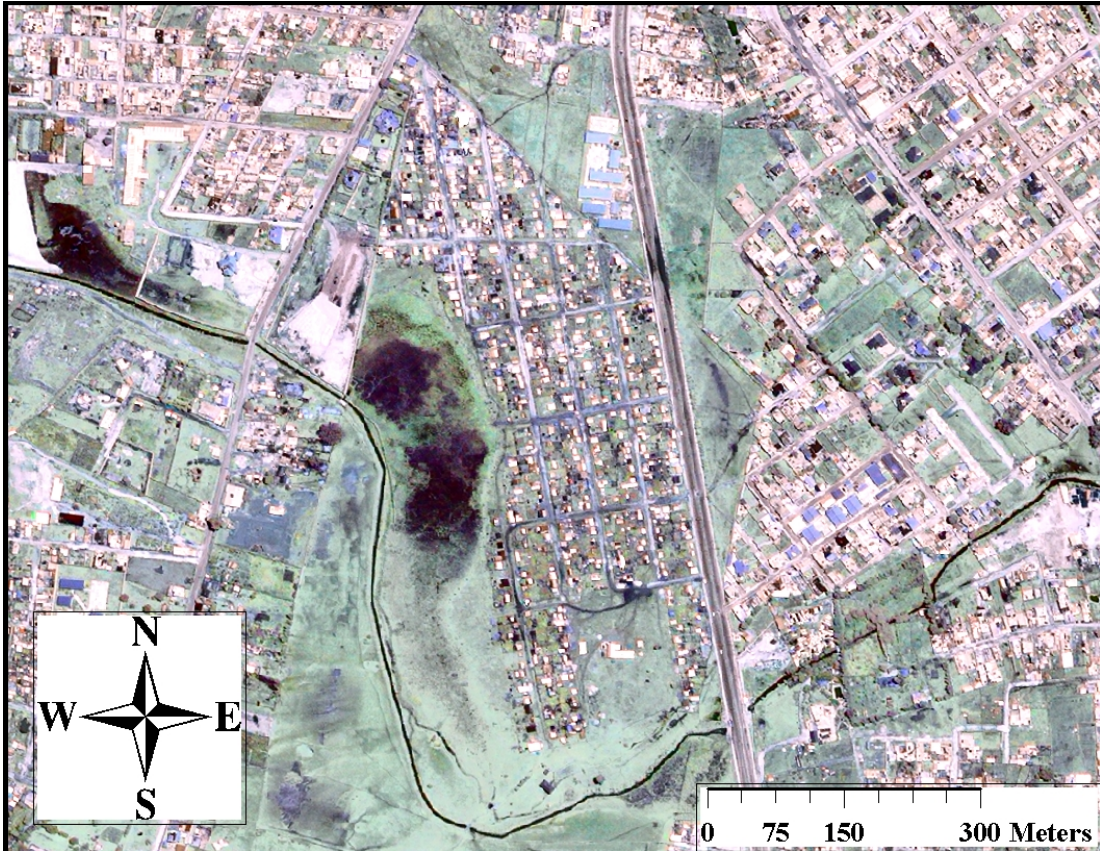


Figura 2. Una imagen aérea de la colonia Cinco de Marzo (central); la línea oscura es el Río Navajuelos, que pasa bajo de la Avenida Insurgentes en la sección a la derechas y baja de la foto, luego continúa norte y pasa el humedal (el área oscura grande) y hacia la orilla izquierda de la foto.



Figura 3. El humedal adyacente a Cinco de Marzo en tierra poseído por el gobierno federal que rodea el Río de Navajuelos; actualmente, las aguas negras descargan directamente en este humedal.



Figura 4. El Río Navajuelos pasa los edificios de escuela en la orilla sur de Cinco de Marzo.

Es importante mantener el río adyacente a Cinco de Marzo como una fuente segura de agua porque es utilizado por miembros de la comunidad para lavar ropa o utilizada para los animales. En el estado actual, enfermedades pueden ser esparcidas por ambos

contacto directo e indirecto con el agua del río. Desgraciadamente, muchas localidades corriente arriba de Cinco de Marzo también descargan las aguas negras en la corriente, y el río ya está contaminado cuando alcanza este sitio. Se esperan mejoras en años posteriores a este proyecto por toda la cuenca con la meta de mejorar la calidad pobre de las aguas de superficie, incluyendo aumentos de infraestructura para el alcantarillado urbano y la recolección y tratamiento de agua pluviales. Ya que el tratamiento de aguas negras será proporcionado sólo a áreas incorporadas de la ciudad, y no está esperado que los trabajos se extiendan a las vecindades ubicadas en la periferia fuera de San Cristóbal, este proyecto recomienda estas soluciones prácticas (SPs) así como la de humedales construidos para asegurar el acceso a servicios básicos para todos residentes.

Los beneficios de este proyecto de un humedal construido incluyen ambos mejoramientos sanitarios y ambientales. El tratamiento de las aguas negras disminuye la posibilidad de la exposición a patógenos. Esto disminuye la incidencia de contraer enfermedades causadas por exposición a agua, la hospitalización y mortalidad para residentes, especialmente éstos en poblaciones sensibles, tal como las personas mayores, los niños, y los individuos con un sistema inmunológico disminuido. La reducción de la exposición a los patógenos puede beneficiar también la salud de animales, inclusive ganado, animales salvajes y de casa.

Si se elimina la contaminación en el agua, esta se puede utilizar en usos múltiples, tales como en la cocina, lavado y en actividades recreativas. Adicionalmente, la gerencia ambiental trae el orgullo al vecindario, aumenta los valores de la propiedad, y mejora la calidad de la vida. Aunque este proyecto representa sólo un solo paso en la dirección correcta, el ejemplo de Cinco de Marzo y las campañas educativas asociadas con este proyecto anticipan aumentar el interés en la construcción de las soluciones prácticas entre otras áreas de la cuenca. Cada pequeño mejoramiento reduce la carga de contaminantes y mejora la salud de la cuenca.

El diseño

Muchos factores fueron considerados en el diseño de este sistema. Estos incluyeron:

- | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------|
| • Densidad Residencial | Facilidad de la Construcción |
| • Calidad de Las Aguas Negras | Sencillez del Mantenimiento |
| • Calidad Anticipada de Las Aguas Negras Tratadas | Disponibilidad de Tierra |
| • Costo | Seguridad |
| • Disponibilidad de Materias | Estética |

Si en cada casa se tratan las aguas negras individualmente, sería menos rentable que un enfoque más centralizado de tratamiento porque esta área es relativamente de alta densidad. Las aguas negras tienen niveles altos de contaminantes, y requieren ambos tratamiento primario y secundario. Las medidas de calidad de agua para el humedal, que contiene las aguas negras parcialmente atenuadas, son mostradas en la Tabla no. 1. La opción primaria más sencilla de tratamiento es una poza de estabilización (poza de oxidación) y esta recomendado en esta propuesta. Los tanques sépticos pueden ser utilizados también si la estética es una preocupación grande y se asegura el mantenimiento regular.

[table] 1. Los resultados de la calidad del agua para una muestra tomada en el humedal de Cinco de Marzo muestran niveles muy altos de nutrientes y bacteria, indicando la influencia de las aguas negras.

Sitio	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Coliform Total (MPN/10 0ml)	E.coli (MPN/10 0ml)	pH	Sólidos (g/L)
Humedal Natural Cinco Marzo en de	0.078	22	4.2	30,000	10,000	7.01	0.55

A diferencia de otros tratamientos de aguas negras, se espera que el efluente de agua del humedal construido pueda ser reutilizado como un abastecimiento de agua potable. Por esta razón, fue considerado demasiado complicado y costoso procurar el tratamiento terciario que aminoraría los niveles de nutrientes y desinfectaría el agua completamente. A causa del nivel alto de patógenos afluentes, es necesario el tratamiento secundario para reducir los números a una cantidad segura. Por eso, la poza de estabilización es recomendada para el tratamiento primario (por el depósito y la eliminación de los sólidos) y el humedal construido es recomendado para el tratamiento secundario.

Las materiales localmente disponibles y económicos pueden ser utilizados para la mayoría de las necesidades de la construcción, y voluntarios de la comunidad pueden realizar mucha de la construcción. El consejo de un ingeniero y albañil puede ser necesario, dependiendo de la base del conocimiento de los voluntarios. El mantenimiento de las pozas de oxidación y humedales construidos es bastante sencillo, requiriendo menos de un día cada semana. Más área de la tierra es necesitada para humedales construidos que algunos otros tratamientos, pero desde que un búfer de tierra existe entre el canal del agua residual y el río en Cinco de Marzo, crea una ubicación conveniente para un sistema aparejado de una poza y un humedal. La estética de la tecnología de humedal es bastante obvia, ya que el sistema aparecerá completamente natural una vez que se establezca. La seguridad puede ser una preocupación, especialmente para los niños, y un cerco sencillo puede ser utilizado si esto es el caso.

Construcción

La localización

La ubicación de los humedales del tratamiento de las aguas negras debe estar en terreno no saturado, ya que así se aminoran la longitud de la tubería necesaria para transmitir las aguas negras del canal del agua residual al humedal hasta el río. Se recomienda aprovechar la cuesta natural del terreno para minimizar la excavación y la graduación: la meta es tener una pendiente de ~1%. Varias ubicaciones son posibles para el sistema en Cinco de Marzo. Una de las posibilidades es mostrada en la Figura 5. Los individuos que viven cerca del sitio deben tener la información en cuanto a donde se localiza. Aunque no está anticipado que los olores van a causar un problema a

menos que el humedal llegue a estancarse, algunos individuos pueden oponerse a un sistema del tratamiento de agua muy cercano. El proceso de construcción necesitará ser integrado con la educación sanitaria pública, para que los residentes perciban los beneficios del sistema y estén informados acerca de las precauciones de seguridad y mantenimiento.

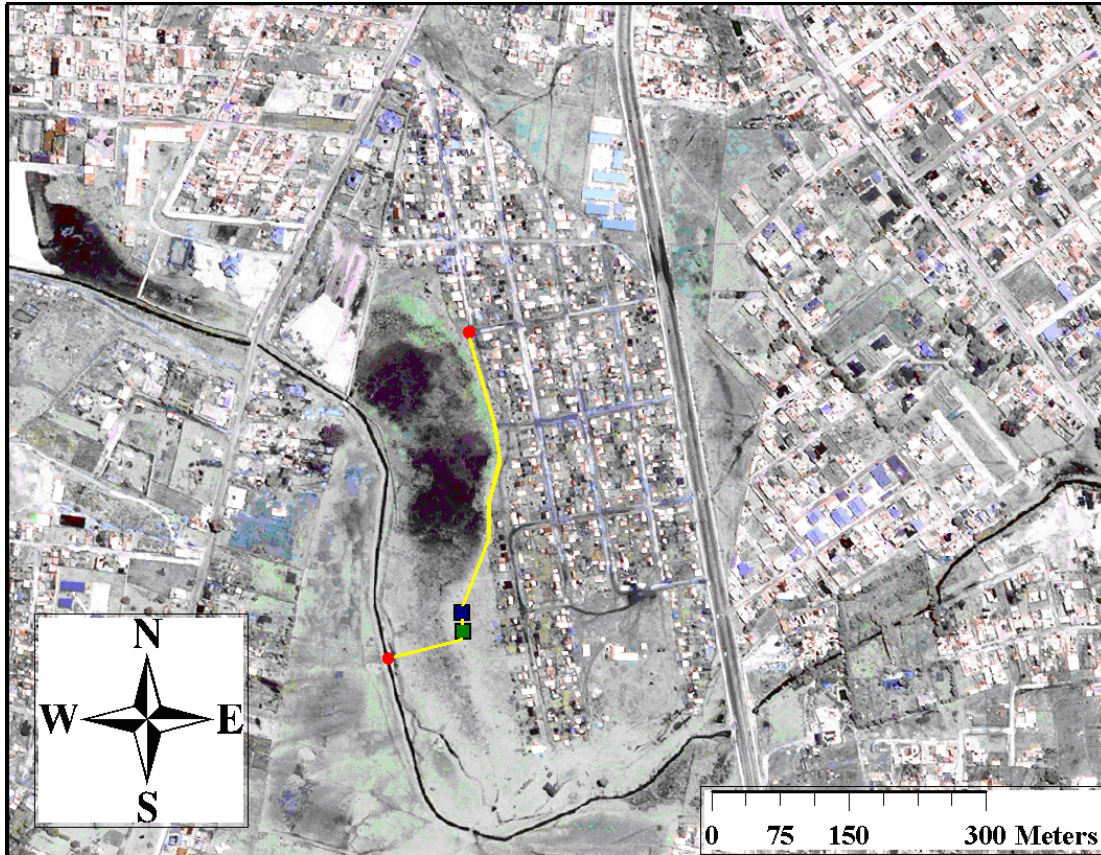


Figura 5. La ubicación potencial para la charca de la oxidación y humedal construido en Cinco de Marzo

El Cálculo de los Parámetros del Diseño

Este documento elaborara en los pasos del "Manual de Diseño: Los Humedales Construidos para el Tratamiento de Agua Negra" para un proyecto específico del tratamiento del las aguas negras de la comunidad en Cinco de Marzo. Los cálculos siguientes para determinar el tamaño son solamente una estimación. Si el proyecto se construye, los cálculos deberán ser repetidos.

Primero, un criterio importante del diseño es la cantidad de las aguas negras y su velocidad de flujo. Como un cálculo aproximado, el flujo de las aguas negras será aproximadamente 50-100 galones (0,189-0,378 m³) por persona por día (Crites and Tchobanoglous 1998). Si se multiplica este número por el número de personas que utilizan el sistema, proporcionara una estimación del volumen [la Ecuación 1; [Tabla No. 1]. Aquí, asumimos aproximadamente 250 usuarios (acerca de 5 residentes por cada casa por acerca de 50 casas). Debe dejarse espacio para la expansión del sistema en el futuro si el desarrollo adicional ocurre en el área o más casas están conectadas a los tubos que transportan las aguas negras; sin embargo, una estimación que es demasiado alta aumentará también los costos del sistema.

[La Ecuación 1]

$$U \cdot V = Q$$

[table] 2. El cálculo del flujo volumétrico de las aguas negras de una población dada; V es típicamente entre 0.189-0.378 m³ por persona por día.

U	# de Usuarios	250	
V	Volumen de aguas negras producidas por persona por día	0.189	m ³ /día/persona
Q	Flujo volumétrico	47.25	m ³ /día

Ahora que hemos determinado Q, podemos traducir esto al área necesaria para el humedal. Esta misma área debe ser utilizada también para la poza de oxidación. El tamaño del humedal construido es basado generalmente en el nivel de reducción del BOD esperado (Crites et al. 2006) a partir de un modelo de tiempo de detención basado en el volumen [la Ecuación 2]. Una explicación de los términos y valores utilizados en esta ecuación está en (Tabla 3). Las estimaciones fueron escogidas como un valor típico según la literatura. Los rangos para valores fueron tomadas de la Tabla 1 en el manual del diseño que acompaña este documento.

[Ecuación 2]

$$A_s = Q(\ln C_0 - \ln C_e) / K_T(y)(n)$$

Table 1. Explicación de los parámetros utilizados en la Ecuación 2.

		[Range]	Estimación	
A _s	Área del humedal		245	m ²
Q	Flujo Volumétrico		47.25	m ³ /día
C ₀	Concentración del BOD de afluente	(5.5 - 18.4)	15	mg/L
C _e	Concentración del BOD de efluente	(5.3 - 9)	7.5	mg/L
K _T	Velocidad Constante		1.1	d ⁻¹ @ 20°C
y	Profundidad		0.45	m
n	Porosidad del Sustrato	(0.18 - 0.35)	0.27	

Cuando hacemos este cálculo, encontramos un área de humedal cerca de 245 m². Hay un cálculo final que determina el ancho y la longitud de la célula de humedal. Se determina el ancho y la longitud utilizando un "proporción de aspecto," que es simplemente la longitud dividida por el ancho ([table] 4). En este caso, el área fue dividida por la longitud para determinar el ancho. Varios valores de longitud fueron dados para dar una proporción del aspecto dentro del rango recomendado. El resultado fue una proporción muy cercana a 1:1, que es considerada típica para un humedal de tratamiento de aguas negras. Así, el humedal para Cinco de Marzo debe ser aproximadamente 15.5 metros por 15.8 metros, y la poza de la oxidación debe ser parecida.

Table 2. La relación entre la proporción del aspecto, la longitud, el ancho, y área

	Rango	
--	-------	--

A_s	Área del Humedal		245.05	m^2
W	El ancho	< 61	15.81	m
L	Longitud	> 15	15.50	m
$L:W$	proporción del Aspecto	(4:1 - 1:2)	0.98	

Para proporcionar una idea de cómo el tamaño necesario de humedal quizás cambie con un número diferente de usuarios, la tabla 5 relaciona el número de usuarios a la longitud aproximada necesitada para el humedal.

Tabla 5. El número de usuarios es listado en la columna izquierda, seguido por la velocidad volumétrica del flujo de las aguas negras, el área del humedal, la proporción de longitud:el ancho, y finalmente, la longitud de cada lado del humedal.

# de Usuarios	Q ($m^3/día$)	A_s (m^2)	$L:W$	L (m)
200	37.8	196	1	14
225	42.5	221	1	14.9
250	47.3	245	1	15.7
275	52.0	270	1	16.4
300	56.7	294	1	17.2
325	61.4	319	1	17.9
350	66.2	343	1	18.5
375	70.9	368	1	19.2
400	75.6	392	1	19.8
425	80.3	417	1	20.4
450	85.1	441	1	21
475	89.8	466	1	21.6
500	94.5	490	1	22.1
525	99.2	515	1	22.7
550	104.0	539	1	23.2
575	108.7	564	1	23.7
600	113.4	588	1	24.3

Vaciando, la Excavación, Graduando

Ya que el sitio se localiza cerca al Río de Navajuelos, debe tenerse cuidado en asegurar que el terreno escogido no sea saturado, aún durante la estación de las lluvias. Un nivel de tierra seca y fija es mejor.

La construcción

Un recubrimiento debe ser utilizado en el sitio porque el manto freático en esta localización hace que el transporte de patógenos hasta las aguas superficiales y el agua subterránea sea un proceso posible. Dependiendo del balance de los fondos disponibles y trabajo disponible en el tiempo de la construcción, puede ser mas efectivo comprar un recubrimiento plástico sintético que verter una base impermeable de asfalto o cemento para el fondo del humedal. La arcilla impermeable puede ser utilizada también, pero cuesta mucho trabajo y material. Si la inversión es posible, un recubrimiento prefabricado debe ser utilizado, ya que requerirá mucho menos trabajo

manual y probablemente sea más efectivo en prevenir la salida de aguas negras del sistema.

El establecimiento de la vegetación

Ya que la vegetación de humedal natural se localiza cerca, es probable que el humedal natural proporcione la mejor fuente para plantas en el humedal construido de Cinco de Marzo. La vegetación localmente trasplantada es más probable que sea exitosa en su crecimiento y resistente a enfermedades que plantas compradas de un vivero. El tratamiento del agua es generalmente más efectivo también, ya que los rizomas de las plantas ya contienen las colonias de microorganismos útiles. Utilizando vegetación cerca del sitio también disminuirá mucho los costos de la construcción.

Las suposiciones

SE asume que ningún obstáculo político ocurrirá durante la implementación de esta solución práctica. Los permisos requeridos de la construcción y permisos deben ser estudiados antes del comienzo del proyecto.

Gracias para su interés en Tecnologías de Soluciones Prácticas. Contacte por favor al autor con cualquier pregunta o preocupaciones (ksetty@bren.ucsb.edu).

Referencias

Crites, RW et al. (2006) Natural Las aguas negras Treatment Systems. Taylor & Francis Group.

Crites, R and G Tchobanoglous (1998) Small and Decentralized Las aguas negras Management Systems. McGraw-Hill.