

CAPÍTULO III. HUMEDALES.

3.1 GENERALIDADES.

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La figura 10 presenta un esquema de un humedal típico. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la absorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

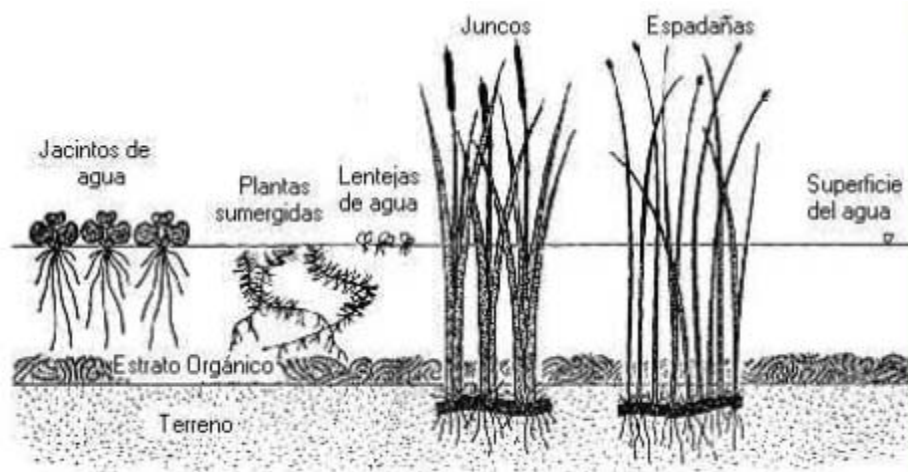


Figura 10. Vegetación de humedales.(2)

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales; estas son:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.

- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual; los sistemas de flujo libre (FWS) y sistemas de flujo subsuperficial (SFS). En los casos en que se emplean para proporcionar tratamiento secundario o avanzado, los sistemas de flujo libre suelen consistir en balsas o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable o con una barrera subsuperficial, vegetación emergente, y niveles de agua poco profundos entre 0.1 y 0.6 m

3.1.1. Sistemas de flujo libre (FWS).

El nivel de agua está sobre la superficie del terreno, la vegetación está sembrada y fija y emerge sobre la superficie del agua, el flujo de agua es principalmente superficial.

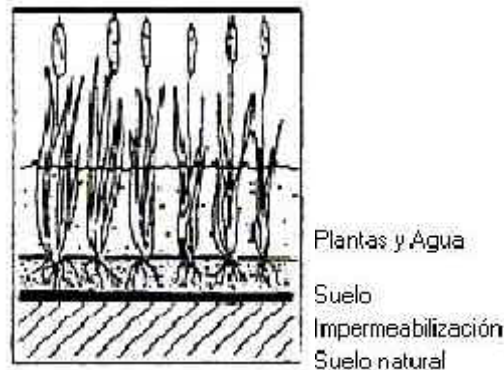


Figura 11. Vegetación de sistema de flujo libre.(2)

El agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de pantanos naturales próximos. En esta clase de sistemas suelen incluir

combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar habitats de cría para aves acuáticas.

3.1.2. Sistemas de flujo subsuperficial (SFS).

El nivel del agua esta por debajo de la superficie del terreno, el agua fluye a través de la cama de arena o grava, las raíces penetran hasta el fondo de la cama.

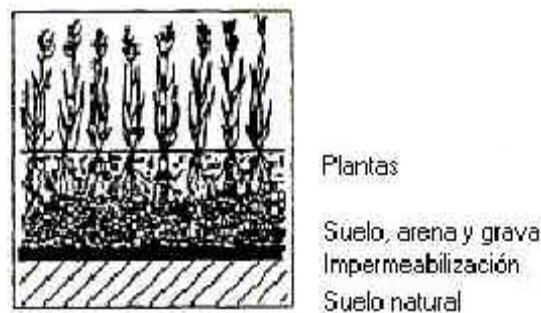


Figura 12. Vegetación de sistema de flujo subsuperficial.(2)

Los sistemas sub-superficiales se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario a avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava.

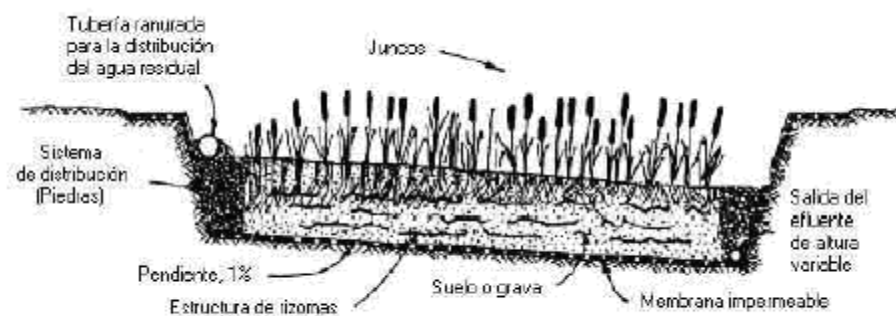


Figura 13. Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial.(2)

El concepto de sistemas subsuperficiales tiene varias ventajas. Existe la creencia que las relaciones biológicas en ambos tipos de pantanos se deben al crecimiento

de organismos. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco representan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en clima fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

Es improbable que un sistema sub-superficial sea competitivo desde el punto de vista de costos, frente a un sistema de flujo libre para pequeñas comunidades y caudales, pero éste siempre dependerá de los costos de la tierra, el tipo de impermeabilización que se requiera y del material empleado.

Además del tratamiento de las aguas residuales municipales, los humedales han sido utilizados por una variedad de industrias, escorrentía de aguas agrícola y de lluvias, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados combinados, drenaje de minas y aguas residuales domésticas en pequeños pantanos.

En cuanto a rendimiento de los pantanos, se puede decir que pueden tratar con eficiencia de niveles altos de BDO₅, sólidos suspendidos y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%). En cambio el fósforo tiene una eliminación mínima en estos sistemas. Las mismas especies vegetales se usan en los dos tipos de pantanos artificiales.

3.2. COMPONENTES DEL HUMEDAL.

Los humedales construidos consisten en agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Otros componentes importantes de los humedales, son las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos.

3.2.1. Agua.

Es probable que se formen pantanos en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde existía una capa de subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un pantano casi en cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener agua.

La hidrología es el factor de diseño mas importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a superficie, difiere en aspectos importantes:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos en un pantano y en la efectividad del tratamiento.
- Debido a área del agua y su poca profundidad, es sistema actúa reciproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la perdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y perdida a través de la transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación e un pantano afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

3.2.2 Sustratos, sedimentos y restos de vegetación.

Los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el pantano debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el pantano.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del pantano.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el pantano. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el pantano.

3.2.3. Vegetación.

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los pantanos de flujo libre es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirven como substrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escurrentía de varias maneras:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.

- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

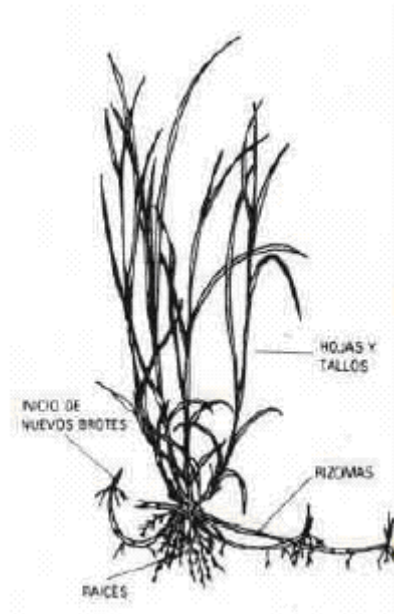


Figura 14. Esquema típico de una planta emergente.

Tabla 3. Especies mas utilizadas en depuración de aguas residuales

Familia	Nombre latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura, °C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i>	-	14-32			5-7,5
	<i>Eleocharis sp.</i>	-				
	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i>	Junco de laguna	18-27		20	4-9
Gramíneas	<i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del maná				
	<i>Phragmites australis (Cav) Trin. ex Steudel (*)</i>	Carrizo	12-23	10-30	45	2-8
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos	16-26		20	5-7,5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas.	10-30	12-24	30	4-10

(*)Especie más utilizada entre todas

3.2.4. Microorganismos.

Una característica fundamental de los pantanos es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad del proceso del pantano.

- Esta involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aerobias (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante años.

La comunidad microbiana de un pantano construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

3.3. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN.

Los aspectos mas importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales son, básicamente:

1. La impermeabilización de la capa subsuperficial del terreno
2. Establecimiento de la vegetación.
3. Las estructuras de entrada y salida

Las estaciones de bombeo, instalaciones de desinfección y tuberías de conducción pueden ser también necesarias.

3.3.1. Impermeabilización.

Los dos tipos de humedales requieren generalmente que se le coloquen una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces esta barrera esta presente naturalmente por una capa de arcilla o por los materiales que se encuentra en in-situ y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable. Otras posibilidades son los tratamientos químicos, una capa de bentonita o de asfalto, o algún tipo de membrana.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si éste es del tipo de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El terreno que corresponde a la cubierta vegetal debe retirarse de forma cuidadosa, para que pueda reservarse para ser utilizado en los pantanos subsuperficiales como base para la vegetación o usarse después de la obra. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del pantano y en la totalidad de la longitud del lecho. Debe de tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje, de forma que se asegure que se proporcionan las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema. El gradiente hidráulico que se requiere y el control del nivel de agua en cada celda se realizan con el dispositivo de salida, que debe ser regulable. Para este efecto en la figura 5 se ilustra un tipo de dispositivo de salida.

Durante las operaciones finales de afinación de la rasante, el fondo del pantano debería ser compactado de forma similar a como se hace con el subrasante de una carretera. El propósito es mantener la superficie de diseño durante las subsecuentes actividades de construcción. Muchos sistemas de pantanos construidos de ambos tipos, han tenido flujos preferenciales debidos a errores en esta parte de la construcción. En el caso particular de los pantanos subsuperficiales, los camiones que transportan la grava pueden ser un problema. Las huellas de los neumáticos sobre el fondo del lecho pueden inducir flujos preferentes permanentes en la totalidad del sistema. Por tanto, no debe de estar permitido el tráfico pesado por el fondo de las celdas cuando se tengan condiciones climáticas de humedad.

La membrana impermeabilizante, si se usa, debe de colocarse directamente en la totalidad de la superficie de la celda. El medio granular en el caso de los pantanos subsuperficiales, será colocado directamente sobre la membrana que debe tener las propiedades mecánicas necesarias para soportarlo sin llegar a perforarse. Para el caso de los sistemas de flujo libre, la capa superficial del suelo que se reservó anteriormente, se coloca sobre la membrana, de forma que sirve de base para las raíces de la vegetación.

La selección del material granular para el pantano subsuperficial es crítica para el éxito del sistema. Puede usarse roca triturada y seca, pero durante el transporte en los camiones, existe el problema de la segregación de finos, que más tarde darán lugar a posibles atascamientos, por lo que es preferible la utilización de piedra lavada o grava. En la construcción de sistemas subsuperficiales pueden utilizarse agregados gruesos de los usados en la fabricación de concreto.

Los diques y bernas de las celdas de los pantanos pueden construirse de la misma manera que cuando se construyen lagunas o instalaciones similares.

Para sistemas a gran escala, la parte alta del dique debería tener un ancho suficiente para situar un camión o cualquier equipo necesario para el mantenimiento. Cada celda del sistema deberá tener una rampa que permita el acceso a los vehículos de mantenimiento.

3.3.2. Vegetación.

En la construcción de los humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio.

Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y control estricto del agua. Adicionalmente, presenta el problema del

posible consumo de semilla por parte de los pájaros, por lo que más aconsejable es plantar transplante de rizomas al lecho previamente preparado.

3.3.3. Estructuras de entrada y salida.

Los dos sistemas, subsuperficial y de flujo libre, requieren de flujo uniformes para alcanzar los rendimientos esperados. Esto se alcanza en sistemas de pequeño o moderado tamaño con tuberías de recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida.

Un colector de entrada sobre la superficie permite el acceso para ajuste y control, por lo que se prefiere para muchos sistemas. Este colector generalmente consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro, con una "T" ubicada sobre la línea, aproximadamente cada 3 m. El operario puede mover cada "T" alrededor de un arco vertical y de ese modo puede hacer un ajuste visual e igualar los caudales. Los pequeños sistemas subsuperficial incluyen normalmente una tubería perforada en el fondo del lecho y rodeada por material rocoso, ligeramente por debajo del fondo de la celda del pantano, para asegurar un drenaje completo.

Los sistemas grandes normalmente tienen estructuras de entrada y salida de concreto. En este caso las de salida, suelen contar con un dispositivo variable que permita controlar el nivel del agua en la celda del pantano, como el que se muestra en la figura.

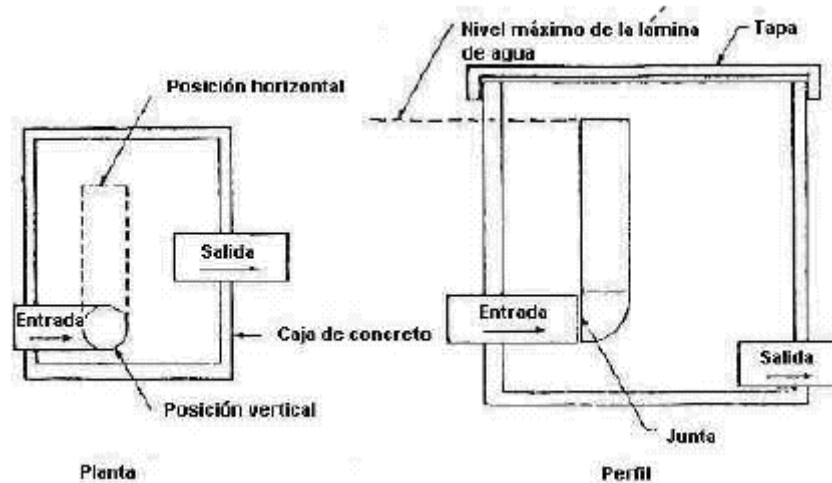


Figura 15. Estructura de salida

3.4. RENDIMIENTOS ESPERADOS.

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo.

Si no se practica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el pantano. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente del sistema.

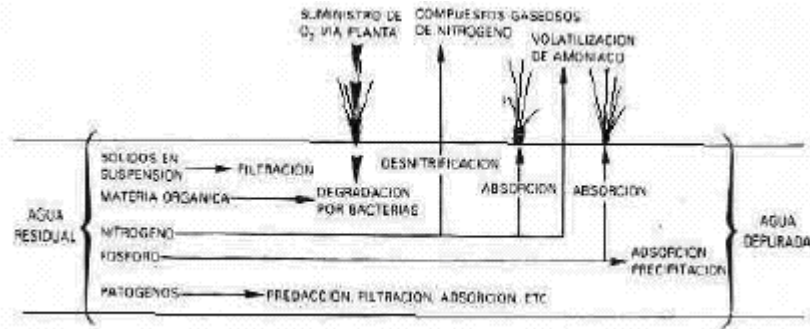


Figura 16. Procesos de depuración de los humedales artificiales.

3.4.1 Remoción de DBO.

En los sistemas de pantanos la remoción de materia orgánica sedimentable es muy rápida, debido a la poca velocidad en los sistemas de flujo libre y la deposición y filtración de sistema subsuperficial, donde cerca del 50% de la DBO aplicada es removida en los primeros metros del humedal. Esta materia orgánica sedimentable es descompuesta aeróbica y anaeróbicamente, dependiendo del oxígeno disponible. El resto de la DBO se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal y continua siendo removida del agua residual al entrar en contacto con los microorganismos que crecen en el sistema. Esta actividad biológica puede ser aeróbica cerca de la superficie del agua en los sistemas de flujo libre y cerca de las raíces y rizomas en los sistemas subsuperficiales, pero la descomposición anaeróbica prevalece en el resto del sistema

3.4.2 Remoción de sólidos suspendidos.

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los tipos de humedales artificiales, produciendo concentraciones inferiores a 20 gr/L.

Al igual que ocurre la remoción de DBO, se alcanzan valores siempre por debajo de la valor de referencia, independiente de la concertación de entrada. La remoción de sólidos es más o menos rápida, y se estima que ocurren en gran parte entre el 12 y el 20% inicial del área.

3.4.3 Remoción de nitrógeno.

La remoción de nitrógeno puede ser muy efectiva en ambos tipos de sistemas de humedales artificiales y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, solo una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía. Se retira del 10 al 15 % del nitrógeno usando la poda de las plantas, esta remoción de nitrógeno en pantanos puede alcanzar valores por encima del 80%.

3.4.4 Remoción de fósforo.

La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz, debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Se ha experimentado usando arcilla expandida y adición de óxidos de hierro y aluminio, algunos de estos tratamientos pueden ser prometedores, pero las expectativas a largo plazo no se han definido aún.