

## Mecanismos depurativos típicos en tratamientos de fitodepuración

Los procesos químico-físicos (como la adsorción, precipitación, filtrado e intercambio iónico) y procesos de tipo biológico (que derivan de la cooperación entre los macrofitos acuáticos y las colonias bacterianas adjuntas a ellos o dispersadas en el hábitat circundante) deben ser agregados a los tratamientos de fitodepuración. La tabla 1 muestra mecanismos depurativos activos en tratamientos de fitodepuración usados para diferentes formas de contaminantes.

Tab. 1. Mecanismos depurativos en tratamientos de fitodepuración.

<b>Contaminante</b>	<b>Mecanismo depurativo</b>
Sólidos suspendidos	Sedimentación Filtración/adsorción Degradación biológica (hidrólisis)
BOD y COD	Sedimentación Filtración/adsorción Degradación biológica (aeróbica y anaeróbica)
Nitrógeno	Ammonificación seguida por Nitrificación/de-nitrificación biológica Asimilación por plantas Volatilización de amoníaco
Fósforo	Precipitación con cationes (Fe, Al, Ca) presentes en el medio Adsorción en arcilla o sustancias orgánicas presentes en el medio Asimilación por plantas
Metales pesados	Ionic adsorción/precipitación/intercambio en el medio Asimilación por plantas
Micro-organismos patogénicos	Sedimentación Filtración/adsorción Predación y muerte natural

	Radiación UV Liberación de sustancias antibióticas por las plantas
--	---

### **Sólidos suspendidos (sedimentos y coloides)**

Los sólidos suspendidos son removidos básicamente por sedimentación o filtrado, por ejemplo a través de algún mecanismo de tipo mecánico. Los coloides son eliminados por adsorción por otros sólidos, o degradación biológica de tipo hidrolítica (provocando la ruptura enzimática de macromoléculas orgánicas en una etapa preliminar del metabolismo bacterial).

La sedimentación toma lugar en todos los sistemas similares a los estanques biológicos y son favorecidos por su retención hidraulica, desechos hidraulicos bajos y reducción, debido a los hidrofitos, de los efectos del viento en el agua y sólidos acumulados en el fondo de la bañera. Es mejor si hay un volumen apropiado de lodo en a bañera, para minimizar que el nivel del agua descienda. La bañera debe de tener bordes adecuadamente altos para compensar la acumulación de sólidos que eleven el nivel del agua. Cuando el tratamiento es vía hidrofitos flotantes, es recomendable coleccionar periódicamente la bio-masa producida, especialmente antes del invierno, con el fin de evitar demasiados sólidos acumulados debido a la muerte y ruptura de hidrofitos.

El filtrado toma lugar mayormente en sistemas donde el desecho líquido transita a través del medio de crecimiento de los hidrofitos (las bañeras de fitodepuración vía hidrofitos emergentes, o de flujo sub-superficial). En tales sistemas, es necesario revisar que la cantidad de sólidos envueltos no tape el medio o cause rutas indeseadas en el flujo de salida superficial.

El filtrado también puede tomar lugar en el flujo superficial de la bañera de fitodepuración, vía hidrofitos flotantes, sumergidos y emergentes, gracias al sistema de raíces de los hidrofitos en la columna de agua.

La adsorción se puede desarrollar en todos los sistemas que tengan acciones químico-físicas de plantas y el medio con sólidos coloidales (adsorción física) y disueltos (adsorción química).

Otra tipología de sólidos suspendidos que pueden ser removidos en tratamientos de fitodepuración son las micro-algas, presentes en el efluente en los estanques, debido a que la luz solar es parcialmente bloqueada por los hidrofitos (principalmente las especies flotantes).

## **BOD y COD**

Los sistemas de tratamiento para “humedales” contribuyen significativamente a la reducción de los niveles de BOD, a través de la sedimentación física de sólidos en los canales del sistema de los humedales y vía filtrado directo de sólidos (a través de plantas o procesos biológicos con micro-organismos en la rizosfera).

Las sustancias orgánicas que entran en un sistema de fitodepuración pueden ser en forma de sólidos sedimentales o sustancias disueltas. La fracción suspendida es removida por sedimentación o filtrado, mientras que los micro-organismos adjuntos y suspendidos son responsables por la degradación de la fracción disuelta.

La degradación biológica de sustancias orgánicas por micro-organismos puede tomar lugar en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. Cuando el oxígeno está presente (aerobiosis), bacterias heterotróficas oxidan moléculas orgánicas, alcanzando la energía necesaria para sus funciones vitales.

Hay degradación aeróbica en la porción oxigenada de la columna de agua y la rizosfera, y degradación anóxica cerca de las áreas oxigenadas donde la ausencia de oxígeno molecular está asociada con una fuente de oxígeno combinado (mayormente nitratos y sulfatos). Finalmente también hay degradación anaeróbica en las áreas sin oxígeno, ya sea libre o combinado, pero especialmente en los sedimentos. Así seleccionar las plantas más apropiadas es importante – la expansión del área aeróbica depende de hecho, de la difusión del sistema de raíces de estas plantas.

## **Nitrógeno**

El nitrógeno en aguas residuales es crucial cuando se tratan. El nitrógeno en el agua marina, y el fósforo en el agua dulce pueden llevar a un excesivo crecimiento de algas y a la eutrofización.

Los mecanismos para remover las varias formas de nitrógeno son numerosos e incluyen la volatilización del amoníaco, el proceso de nitrificación y de/nitrificación, la asimilación de plantas, y la adsorción por los soportes inactivos y vegetales.

## **Fósforo**

Los mecanismos típicos para remover fósforo son: asimilación directa de las plantas, acumulación biológica y química en los sedimentos. La efectividad es generalmente mejor en bañeras de flujo sub-superficial, porque – en oposición al flujo superficial – incrementan las oportunidades de contacto entre desecho líquido y el sedimento.

La asimilación directa de las plantas de esta sustancia es menor que la del nitrógeno. Esto es debido a su menor habilidad de acumulación y limitada concentración de fósforo en los tejidos vegetales, como se

muestra en la tabla 2. Como los problemas concernientes a la disposición de la biomasa y el estado temporal de la acumulación de nutrientes en las partes removibles del hidrofito también son afectados por el fósforo, es necesario remover fósforo recolectando las biomásas vegetales. De esta manera la muerte de los hidrofitos (con o sin raíces) se evita y la mayoría del fósforo asimilado por las aguas superficiales es liberado.

Tab. 2. Absorción del nitrógeno y fósforo y producción de biomasa de algunos macrofitos acuáticos.

Hidrofitos	biomasa		nitrógeno		fósforo	
	densidad [gSS/m <sup>2</sup> ]	productividad [gSS/m <sup>2</sup> ×gg]	composición [gN/KgSS]	asimilación [gN/m <sup>2</sup> ×gg]	composición [gP/KgSS]	asimilación [gP/m <sup>2</sup> ×gg]
FLOTANTE:						
<i>Eichhornia crassipes</i>	2000-2400	16-30	10-40	0,53-1,60	1,4-12,0	0,10-0,31
<i>Hydrocotyle sp.</i>	700-1100	8-16	15-45	0,15-0,88	2,3-7,5	0,04-0,21
<i>Lemna sp.</i>	130	2-7	25-50	0,1-0,33	4,0-15,0	0,03-0,11
<i>Salvinia sp.</i>	240-320	2-12	20-48	0,1-0,47	1,8-9,0	0,03-0,12
EMERGENTE:						
<i>Typha sp.</i>	430-2250	2-17	5-24	0,16-0,72	0,5-4,0	0,02-0,11
<i>Juncus sp.</i>	2200	15	15	0,22	2,0	0,03
<i>Scirpus sp.</i>	-	-	8-27	0,03	1,0-3,0	0,01
<i>Phragmites sp.</i>	600-3500	3-16	18-21	0,06	2,0-3,0	0,01

### Metales pesados

Poco es conocido sobre remover estos contaminantes con sistemas de fitodepuración. Los mecanismos son similares a los observados para el fósforo e incluyen la asimilación directa por las plantas, colección y almacenamiento biológico de los hidrofitos (seguidos de la muerte y lenta descomposición), y procesos especiales de adsorción, precipitación e intercambio iónico en los sedimentos.

La remoción de metales pesados es generalmente más efectivo en bañeras de fitodepuración con flujo sub-superficial comparado con el flujo superficial, debido a que las oportunidades de contacto entre el desecho líquido y el sedimento son mayores.

## Micro-organismos patogénicos

Diferentes sistemas de fitodepuración remueven virus y bacterias efectivamente, Los virus pueden ser removidos vía adsorción o reducidos a inofensivos debido a condiciones ambientales desfavorables (tiempos de retención largos). Las bacterias pueden ser removidas vía sedimentación, filtración o por medio de radiación ultravioleta y decadencia natural (muerte por causas naturales debido a condiciones ambientales adversas).

Otro efecto significativo es cuando el sistema de raíces libera metabolitos de la planta ya que tienen efectos antibióticos en las bacterias.

La radiación ultravioleta tiene un importante efecto en las superficies descubiertas de los sistemas de agua (donde los hidrófilos no bloquean la superficie y permiten el paso de los rayos solares). Con los sistemas de flujo sub-superficial, en particular, las aguas residuales fluyendo a través del medio están en contacto con ambos ambientes; anaeróbico en la tierra saturada y aeróbico en las micro-zonas adyacentes al sistema de raíces. Este proceso produce estrés metabólico tanto a las bacterias anaeróbicas como aeróbicas.

También debe de notarse que en muchos ecosistemas acuáticos, existen contribuciones internas de bacterias fecales debido a poblaciones de mamíferos y aves cercanos a estos hábitats.