

Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura.

Ricard Carbó Bacaicoa.

“Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries” (IRTA). Apdo 200 Sant Carles de la Ràpita, 43540 Tarragona.

E-mail: ricard.carbo@irta.cat.

Introducción

En el medio ambiente natural, el agua, el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, interaccionan entre ellos y se producen procesos físicos, químicos y biológicos. El ser humano ha estudiado estos procesos naturales y ha aprendido a aprovecharlos para diseñar sistemas de tratamiento del agua residual. Los procesos que intervienen en estos sistemas de tratamiento incluyen sedimentación, filtración, transferencia de gases, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación, reducción química, conversión y descomposición biológica, fotosíntesis, fotooxidación, y asimilación por parte de las plantas.

A diferencia de los sistemas convencionales de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) donde el aporte energético ayuda a acelerar los procesos naturales y donde los procesos de tratamiento suelen ser secuenciales, en los sistemas de tratamiento naturales los procesos se producen a velocidades, digamos naturales, y suelen realizarse de manera simultánea en un único bioreactor-ecosistema.

Los sistemas de tratamiento natural se vienen utilizando desde hace muchos años, existen registros de 1860 en Croydon-Beddington, Inglaterra con superficies de 252 ha y caudales de 0,2 m³/s o en 1869 en Paris Francia con superficies de 640 ha y caudales de 3,46 m³/s. Estos sistemas se han venido utilizando principalmente como sistemas de depuración de las aguas residuales provenientes de diferentes poblaciones, municipios o ciudades.

En acuicultura se plantea el uso de esta tecnología, no solo como sistema final de depuración de las aguas residuales de la granja, sino también como sistema integrado de tratamiento del agua dentro del proceso de recirculación. Esta tecnología supone una solución sostenible y ecológica al tratamiento del agua residual, con un efecto positivo sobre el impacto medioambiental. Así mismo esta tecnología permite disminuir notablemente los costos de inversión y de posterior mantenimiento de un sistema tradicional de recirculación.

Existen diferentes técnicas de utilización de estos sistemas, como por ejemplo los sistemas de baja carga, que a día de hoy es el más común y contempla la aplicación directa del agua residual sobre un terreno con vegetación, también existe el sistema de infiltración rápida que conlleva algún tipo de pretratamiento del agua antes de ser aportada y que se distribuye bien directamente al terreno, bien mediante aspersión. Otros sistemas utilizados son los denominados terrenos pantanosos, se trata de terrenos inundados con profundidades normalmente inferiores a 0,6 m con plantas emergentes como juncos, espadañas y aneas. Por último existen los terrenos pantanosos artificiales

que se diferencian de los anteriores en que no vierten sus residuos a ecosistemas naturales, como en los casos anteriores.

Son estos últimos, por sus características, los que encajan perfectamente en la práctica de la acuicultura que conocemos y precisamente estos son el objeto de este artículo. Existen dos tipos de sistemas pantanosos artificiales, los sistemas de flujo libre (FWS) y los sistemas de flujo subsuperficial (SFS). En ambos casos se suele impermeabilizar el terreno para evitar infiltraciones. El aporte de agua puede ser precedido de algún pretratamiento previo y el tratamiento del agua en sí, se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas SFS consisten en canales o zanjas con fondos impermeables rellenos de gravas y arenas como sustrato para las plantas emergentes, en el caso de los FWS se diferencian del SFS porque el agua circula libremente por el canal y las plantas utilizadas son plantas flotantes como es el caso del jacinto de agua, lentejas de agua u otras.

Sistema (FWS)

Este sistema (FWS) se basa en la utilización de macrófitas emergentes, que de forma natural son flotantes como los jacintos de agua. Al flotar, las plantas forman un tapiz denso de raíces y rizomas que ocupa todo el volumen del colector (laguna o canal), forzando a que todo el agua circule por la esponja de raíces que soporta los microorganismos que degradan la materia orgánica. El sistema de filtros de macrófitas en flotación elimina los elementos eutrofizantes, particularmente el fósforo y el nitrógeno, así como metales pesados y fenoles.

Las mismas plantas suministran el oxígeno necesario para el proceso de purificación, que tiene lugar en el sistema radicular. Las plantas absorben y asimilan los contaminantes en sus tejidos, al mismo tiempo que proporcionan una extensa superficie que permite el crecimiento bacteriano.

Las ventajas de este sistema son:

- La ratio costo-eficiencia y la facilidad de implementación.
- Mínimo consumo de energía.
- Purificador de mayor rendimiento en comparación con otros sistemas, incluyendo otros tipos de filtros verdes, ya que las aguas residuales circulan a través de la malla de la raíz de purificación. Hasta el 90% del material orgánico se reduce (en términos de DBO5)
- Facilidad de cosecha de las plantas.
- Se produce una gran cantidad de biomasa, puede llegar a 2,23 kg/m² de materia seca al año. Se puede utilizar como compost, para la alimentación del ganado, o como combustible (un metro cuadrado produce el mismo poder calorífico poder como un litro de gasolina).
- La fijación de CO₂ en el tejido de las macrófitas.
- Notable elasticidad: absorbe los picos hidráulicos sin mayor dificultad ya que el propio filtro de sirve como un laminador.
- No es necesario recircular los lodos y no hay problemas de contaminación bacteriana.
- No es necesario controlar el nivel de oxígeno disuelto en el tanque de tratamiento.
- La macrófitas suministran oxígeno al agua necesario para los microorganismos.

- Reducción de la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales derivados de las filtraciones
- Reducción de los olores y los riesgos para la salud de las aguas no tratadas y del impacto visual en el paisaje de áreas sépticas y de grandes plantas de tratamiento de agua.
- El nivel de ruido y el impacto visual es muy bajo.

Uno de los proyectos que coordinamos desde el IRTA, encargo realizado por el Gobierno de Jalisco a través de su Secretaría de Desarrollo Rural, es la implementación de estos sistemas en piscifactorías de tilapia y de cultivo de especies locales.

Debido al reducido aporte de agua que actualmente existe en la planta, la recirculación y por tanto la reutilización del agua, se presenta como uno de los ejes para la viabilidad de la zona de estanquería. Para poder depurar el efluente de los estanques de peces, hemos diseñado humedales (wetland en su denominación inglesa) que se justifican en este caso por bajo coste de instalación y mantenimiento, facilidad de aplicación y de funcionamiento gracias a la climatología y las especies vegetales locales con rápido crecimiento que podrían utilizarse. Además se plantea el aprovechamiento del material vegetal generado para la agricultura y ganadería local.

Bases aplicadas para el dimensionamiento del humedal de flujo libre FWS

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la eliminación DBO y nitrógeno.

Los modelos de diseño presentados aquí son los sugeridos por Sherwood C. Reed en su libro "Natural Systems for Waste Management and treatment".

Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la vegetación y la capa de sedimentos en los FWS, y el medio, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en los SFS. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. La mejor solución en lo referente a la construcción, es proveer al humedal de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel del agua.

El área superficial del humedal se determina primero mediante el modelo de diseño de eliminación del contaminante limitante (DBO, TAN, SST) y posteriormente, una vez calculada, se debe determinar hidráulicamente cual es la longitud y anchura máxima aceptable del humedal para garantizar un buen rendimiento

La relación largo/ancho tiene gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo. En teoría grandes relaciones largo/ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tiene el inconveniente de que en la parte alta del sistema se desborda el agua debido al incremento en la resistencia al flujo causado

por la acumulación de residuos de vegetación. Por tanto relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 4:1 son aceptables.

Modelo para la eliminación de DBO

Todos los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede aproximarse al descrito por la cinética de primer orden de un reactor de flujo pistón.

El modelo se basa en la experiencia con sistemas aplicados sobre suelo y filtros percoladores.

El área superficial se determina mediante la siguiente fórmula:

$$A_s = LW = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_T \cdot yn}$$

Dónde:

Ce: concentración de DBO5 en el efluente, mg/L

Co: concentración de DBO5 en el afluente, mg/L

KT: constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura, d-1

L: longitud del sistema, m

W: ancho del sistema, m

y: profundidad promedio del sistema, m

n: porosidad del sistema, fracción decimal

Q: caudal promedio en el sistema, m³/d

$$K_T = K_{20}(1.06)^{T-20}$$

$$K_{20} = 0.678d^{-1}$$

Modelo para eliminación de Nitrógeno:

La principal fuente de oxígeno para la nitrificación en estos humedales es la aireación atmosférica en la parte más cercana a la superficie del agua y la fuente de carbono para la desnitrificación es la capa de restos de vegetación que se encuentra sumergida.

Nitrificación. El modelo de diseño recomendado asume que la remoción de amoniaco se da completamente por la vía de la nitrificación. Las siguientes ecuaciones se aplican para la remoción de amoniaco en humedales FWS expresadas en términos de concentraciones de amoniaco.

K_T : Con valores de:

- 0 d^{-1} (0°C).
- $0.1367 (1.15)^{(T-10)}$, d^{-1} ($1 \text{ a } 10^\circ\text{C}$)
- $0.2187 (1.048)^{(T-20)}$, d^{-1} (+ de 10°C)

Desnitrificación. La mayor parte de nitrato del humedal FWS puede desnitrificarse y ser eliminado dentro del área prevista para la nitrificación

Método para la eliminación del fósforo

Basándose en el análisis de los datos de la North American Data Base, Kadlec propuso una constante de primer orden igual a 2.74 cm/d para estimar la remoción de fósforo

$$A_s = \frac{b \cdot Q [\ln(C_o / C_e)]}{2.74}$$

donde

Ce : concentración de fósforo en el efluente, mg/L

Co : concentración de fósforo en el afluente, mg/L

As: área superficial del humedal, m²

b : factor de conversión, 100 cm/m

Q : caudal de diseño, m³/d

Modelo de eliminación de Sólidos Suspendidos Totales

En este sistema la eliminación de sólidos se debe a procesos físicos. Debido a que la eliminación de SST es rápida en comparación con la de DBO, no se le considera como un parámetro de diseño.

Diseño hidráulico:

Una vez hallada la superficie necesaria, que será la mayor de las calculadas anteriormente, se procederá a determinar el diseño hidráulico del humedal:

Uno de los aspectos más importantes es la hidráulica del humedal. Un diseño hidráulico erróneo puede causar problemas en el transporte del agua, la calidad del agua, olores y vectores.

El flujo de agua en un humedal FWS viene descrito por la ecuación de Manning, que define el flujo en canales abiertos.

$$L = \left[\frac{A_s y^{8/3} m^{1/2} \cdot 86.400}{a \cdot Q} \right]^{2/3}$$

Donde:

Q: Caudal m³/h

W: Ancho del humedal, m

As: Área superficial del humedal, m.

L: Longitud del hedel, m.

m: pendiente del fondo del lecho en %, expresado como decimal.

y: Profundidad del agua en el humedal, m.

a: factor de resistencia, $s \cdot m^{1/6}$

0,4 para vegetación escasa y $y > 0.4$ m

1.6 para vegetación moderadamente densa con $y < 0.3$ m

6.4 para vegetación muy densa y $y < 0.3$ m

En los humedales FWS la resistencia está distribuida sobre la totalidad de la columna de agua, ya que las plantas emergentes y los restos de vegetación están presentes en todo el espacio. La ecuación de Manning también asume flujo turbulento, lo que no es completamente válido pero es una aproximación aceptable.

Esta tecnología, no siempre podrá llevarse a cabo, se deberá tomar en consideración aspectos como disponibilidad de suficiente espacio para su ejecución, climatología adversa, lugares sensibles a olores y mosquitos, etc.

En los lugares donde sea factible, puede estudiarse la necesidad o no, en función de la caracterización del efluente, de llevar a cabo pre tratamientos como una eliminación previa de sólidos mediante tanques de sedimentación o filtros de tambor, o un aporte de oxígeno en su fase final para garantizar los niveles de oxígeno que nuestro cultivo acuícola requiera, etc.

En zonas con climatología adecuada y disposición de terreno sin que éste entre en competencia con otros intereses como el turismo, como es el caso que se estudió en México, esta tecnología puede llegar a ser tremendamente útil, práctica y rentable.

Figura 1: De izq a dercha y de arriba abajo:

Los sistemas de jacintos de agua representan la mayor parte de los sistemas de plantas acuáticas que se han construido.

Cosechado de jacintos de agua.

Mimbreral cubierto de agua después de su plantación en el humedal construido (Foto: AKVAPARK)



Bibliografía

1. Andrés Lara Borrero, Dr. Miguel Salgot. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Barcelona mayo 1999. Trabajo Final Máster en Ingeniería y gestión ambiental. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.
2. Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. Environment protection Agency office of research and development. Center for Environmental Research Information, Cincinnati OH 45268, September 1988.
3. I.H. Farooqu, Farrukh Basheer and Rahat Jahan Chaudhari. Faculty of Engineering and Technology, Aligarh Muslim University, Aligarh 2002 India 104-20.
4. Metcalf & Eddy, INC. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Editorial Mc Graw Hill, tercera edición.
5. Ying-Feng Lin, Shuh-Ren Jing, Der-Yuan Lee, Tze-Wen Wang. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetland system. University of Pharmacy and Science, Tainan 717, Taiwan.