

Modelización integral de una biojardinera para el tratamiento de aguas grises

L. García^{1,2}, M. Manso^{1,2}, R. Aguado^{1,2}, F. Mijangos¹.

¹Dpto. Ingeniería Química, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n, 48940-Leioa. Bizkaia.

²Ingeniería Sin Fronteras País Vasco/ Mugarik Gabeko Ingeniaritza Euskadi.

federico.mijangos@ehu.eus

Resumen

En este trabajo se han planteado los procesos bioquímicos que ocurren en el lecho de la biojardinera para desarrollar un modelo matemático que simula el comportamiento de los sistemas reales.

A partir de los balances de materia del sustrato y microorganismo, se ha considerado la existencia de zonas aeróbicas y anaeróbicas, el flujo transversal de microorganismos y nutrientes, para evaluar el efecto de la temperatura en la actividad microbiana, así como los patrones de flujo del fluido.

Se ha utilizado como herramienta de simulación Scilab, un lenguaje de programación científica de código abierto y multiplataforma, para establecer el efecto en los perfiles espacio-temporales de sustrato y microorganismos de diversas variables el funcionamiento (arranque-parada), y meteorológicas (noche-día, lluvias) para así evaluar el rendimiento y la estabilidad de la biojardinera.

Este modelo puede servir de herramienta para el diseño y escalado de instalaciones adaptadas a las necesidades de cada vivienda o comunidad rural.

Palabras Clave: aguas grises, trampa de grasas, biojardineras, modelización.

Introducción

En los países en desarrollo el agua es uno de los factores más determinantes para el crecimiento económico, social y ambiental. En El Salvador en particular el agua es un bien escaso, y no solo por los problemas de abastecimiento sino especialmente por las carencias en el tratamiento de las aguas rurales, urbanas e industriales.

La solución pasa por el control y adecuación de los vertidos, que en las áreas rurales, donde en el año 2013 vivía el 34% de la población, implica identificar e implementar tecnologías cuya instalación requiera inversiones muy modestas y cuyo mantenimiento no precise cualificación técnica ni recursos económicos o temporales.

En este sentido diversas organizaciones civiles locales (AQUA, ADES) han identificado la biojardinera como una solución eficaz, factible, versátil y escalable para el tratamiento de aguas grises procedentes de aseos y piletas de lavado domésticas y comunitarias.

Este sistema de depuración funciona básicamente como un biofiltro, pero combina el uso de plantas y microorganismos diversos para el tratamiento unificado de las aguas y los lodos. De hecho, la biojardinera reproduce de forma localizada los procesos que en la naturaleza realizan la vegetación superior, los suelos y los microorganismos asociados para la mejora de la calidad del agua.

La carga orgánica del agua es biodegradada mediante microorganismos, y los nutrientes de los lodos (N, P y materia orgánica) son absorbidos por las plantas, de manera que la biojardinera genera un ecosistema autosostenido. El agua tratada sale en condiciones óptimas para su uso con fines agrícolas o agropecuarios, o incluso puede ser vertida a ríos, lagos y acuíferos. Además, la construcción es técnicamente sencilla y económicamente poco exigente.

Las aguas grises de origen doméstico o industrial, y especialmente las que se generan en las cocinas, contienen cantidades considerables de aceites y grasas que no son eliminados en la biojardinera y que además pueden causar serios problemas en su funcionamiento, llegando incluso a colapsar e impedir el flujo y/o depuración del agua.

La solución habitual pasa por incluir un pretatamiento consistente en un tanque de flotación, comúnmente denominado trampa de grasas, que requiere un mantenimiento periódico para evitar el aumento incontrolado de la capa de aceites y grasas y malos olores. La organización ADES de Santa Marta (El Salvador) propone una solución alternativa basada en la identificación de un tipo de microorganismo autóctono capaz de regular el espesor de la capa de grasas y evitar así el mantenimiento.

Además, los técnicos de la organización han establecido el protocolo de cultivo y dosificación del microorganismo, por lo que han desarrollado completamente el proceso, que puede ser incorporado al procedimiento de gestión y mantenimiento de este tipo de instalaciones.

En general el conocimiento sobre el diseño y funcionamiento de la biojardinería, y en especial de la novedosa propuesta de ADES Santa Marta para la digestión de las grasas, están poco desarrollados y no se han abordado con el rigor que requiere el estudio de un proceso tan complejo, y que incluye aspectos relacionados con el flujo del fluido, los procesos de crecimiento y agotamiento microbiano, la actividad biológica y enzimática, la depuración de agua, la separación bifásica de agua y grasas, la transferencia de materia, etc.

Por tanto, el objetivo de este trabajo es combinar un estudio experimental y teórico que permita comprender y validar la incorporación de los microorganismos digestores de grasas a la etapa de pretatamiento y construir una herramienta integral que permita simular el comportamiento de una biojardinería real, así como herramienta para el diseño y escalado de instalaciones adaptadas a las necesidades de cada vivienda o comunidad rural.

Materiales y Métodos

Caracterización de la actividad microbiana en la trampa de grasas. En base al procedimiento establecido por ADES Santa Marta, para la preparación del aditivo se parte de tierra arcillosa y se procede a la reproducción en medio sólido durante un mes, con pulimento de arroz y melaza en condiciones de anoxia.

Tras este tiempo se obtiene un cultivo que se activa y adecúa para su inoculación en la trampa de grasas manteniéndolo en una tela con agua y miel durante cuatro días. Se ha medido la actividad enzimática del aditivo mediante una valoración ácido-base realizada en un recipiente de vidrio con fenolftaleína como indicador e hidróxido sódico como base (Margarita Stoytcheva et al. 2012).

Para generar la capa hidrófoba se han empleado dos tipos de aceites vegetales (girasol y oliva), y se propone el coeficiente de saponificación para el cálculo de la cantidad de aceite hidrolizado.

Para la modelización de la operación, de la trampa de grasas y la biojardinería se ha utilizado como herramienta de simulación Scilab, un lenguaje de programación científica de código abierto y multiplataforma.

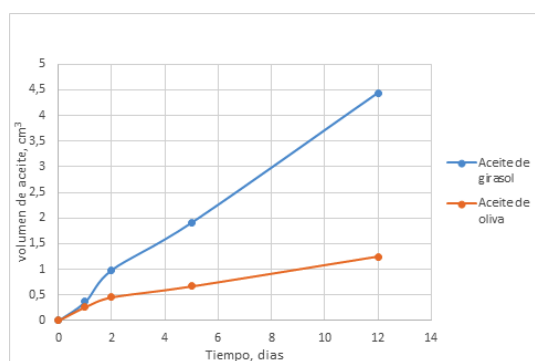


Figura 1. Resultados experimentales de hidrólisis de aceites vegetales con el microorganismo propuesto por ADES Santa Marta

Resultados y Discusión

A falta de un estudio microbiológico exhaustivo, se ha comprobado que el efecto beneficioso de este aditivo reside en la capacidad de algunos microorganismos (principalmente hongos filamentosos) de generar enzimas lipídicas (lipasas) extracelulares de tipo esterasa, que catalizan la hidrólisis de lípidos para generar glicerol y ácidos grasos libres (Jaeger y Reetz 1998).. en la figura 1 se muestra el volumen de aceite hidrolizado durante la reacción en condiciones anóxica y pH constante (8,5).

En base a este esquema cinético y a otras suposiciones adicionales (Al-Zuhair, Hasan y Ramachandran 2003), la ecuación cinética que describe la degradación de los triglicéridos es la siguiente:

$$v = \frac{k_{cat} E_t S}{K_e \left(\frac{k_d}{k_p a_t^2} + 1 \right) + S} \quad (1)$$

Actualmente se está trabajando para establecer los valores óptimos de las constantes del modelo cinético y para desarrollar un modelo matemático que permita simular el proceso, de manera que pueda integrarse con el modelo correspondiente a la eliminación de la carga orgánica en el lecho de la biojardinerá.

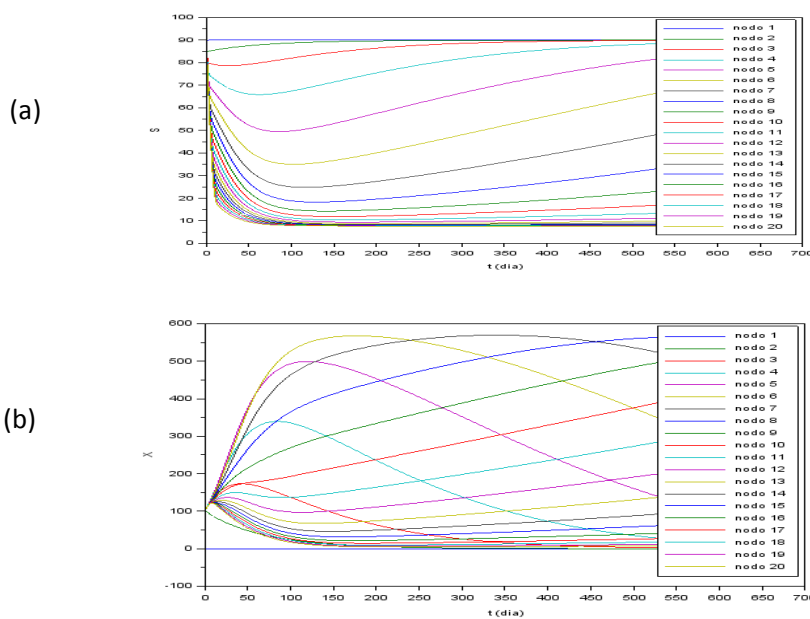


Figura 2. Evolución con el tiempo de la concentración de sustrato (a) y de microorganismos (b) en varias posiciones longitudinales de la biojardinerá

El tratamiento del agua residual en una biojardinerá es la etapa principal del proceso y la responsable de la eliminación de la carga orgánica del agua para adecuarla para su vertido.

Para el modelo se considera el balance de materia del sustrato y el de los microorganismos (Samsó Campà 2014). El primero considera los términos de entrada y salida, el término de acumulación y el de desaparición como resultado de la actividad microbiana:

$$\frac{dS}{dt} \Delta V = QS_i - QS_o - r_s \Delta V \quad (2)$$

Asumiendo una cinética de tipo Monod para describir la desaparición del sustrato por la actividad microbiana:

$$\frac{dS}{dt} \Delta V = QS_i - QS_o - \left(\frac{\mu_m S}{K_s} + S \right) X \Delta V \quad (3)$$

Aunque parece razonable que los microorganismos se adhieran a la grava que se emplea como relleno y soporte en la jardinera (normalmente piedras naturales de un diámetro entre 2 y 5 cm), es de esperar que tras la proliferación de los microorganismos debido a las condiciones favorables, el biofilm se desprenda y haya un transporte de microorganismos debido al arrastre del flujo, por lo que el balance de materia para los microorganismos deberá considerar este fenómeno, y también el término correspondiente a la muerte de microorganismos (Clark y Blanch 1997):

$$\frac{dX}{dt}\Delta V = QX_i - QX_o + \left(\frac{\mu_m S}{K_s + S}\right)X - K_d X \Delta V \quad (4)$$

Para la implementación del modelo y la resolución de las ecuaciones diferenciales ordinarias se ha construido un algoritmo en Scilab. La herramienta de simulación puesta a punto permite estudiar el efecto de las condiciones de operación y de los parámetros del modelo en el comportamiento de la biojardinera, estableciendo la evolución con el tiempo de la concentración de sustrato y microorganismos en varias posiciones longitudinales.

Por carecer de información bibliográfica verificada, se ha realizado un estudio paramétrico para establecer intervalos representativos de la velocidad específica de crecimiento máxima, μ_m , del porcentaje de microorganismos arrastrados por el caudal, f , y del parámetro de muerte de los microorganismos, K_d .

En todos los casos se han mantenido los parámetros geométricos, operativos y ambientales de la biojardinera constantes: 4.5 m de largo, 1 m de ancho y una altura activa de 0.6 m. El caudal de entrada, la concentración de sustrato y la temperatura se han fijado en 0.25 m³/día, 90 g/m³ y 30 °C, respectivamente.

Los criterios para establecer los intervalos representativos de los tres parámetros del modelo han sido el tiempo de activación de la biojardinera (hasta un mes) y el tiempo de estabilización (no más de 3 meses). A modo de ejemplo en la Figura 2 se muestran los resultados correspondientes a $\mu_m=0.199/24\text{h}^{-1}$, $f=0.25$ y $K_d=0.045/24\text{h}^{-1}$.

En estas condiciones, la eficiencia de la biojardinera en la eliminación de sustrato es de aproximadamente 91% (Vymazal y Kröpfelová 2008), y la concentración de salida de 8 g/m³.

Conclusiones

El cultivo en las condiciones optimizadas del microorganismo que se incorpora a la trampa de grasas muestra actividad lipásica en la interfase líquido-líquido, donde en condiciones anóxicas es capaz de metabolizar las grasas y/o transformar los triglicéridos en productos parcialmente solubles en agua (ácidos grasos y glicerina) y susceptibles de ser eliminados en la biojardinera.

Por otro lado, observando los datos obtenidos a partir de la modelización de la biojardinera, se puede ver cómo en la parte activa hay un crecimiento de los microorganismos a causa del consumo del sustrato (cinética de Monod), muerte y migración de los microorganismos.

Por último, cabe destacar que el sustrato tiene una activación rápida, que se estabiliza en aproximadamente tres meses y que la eficiencia obtenida al final de la biojardinera es satisfactoria.

Referencias

- AL-ZUHAIR, S., HASAN, M. y RAMACHANDRAN, K.B., 2003. Kinetics of the enzymatic hydrolysis of palm oil by lipase. *Process Biochemistry*, vol. 38, no. 8, pp. 1155-1163. ISSN 1359-5113. DOI 10.1016/S0032-9592(02)00279-0.
- CLARK, D.S. y BLANCH, H.W., 1997. *Biochemical Engineering, Second Edition*. S.I.: CRC Press. ISBN 978-0-8247-0099-7.
- JAEGER, K.-E. y REETZ, M.T., 1998. Microbial lipases form versatile tools for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, vol. 16, no. 9, pp. 396-403. ISSN 0167-7799. DOI 10.1016/S0167-7799(98)01195-0.
- MARGARITA STOYTCHIEVA, GISELA MONTERO, ROUMEN ZLATEV, JOSÉ ÁNGEL LEÓN y VELIZAR GOCHEV, 2012. Analytical methods for lipases activity determination: A review. *Current Analytical Chemistry*, pp. 400-407.
- SAMSÓ CAMPÀ, R., 2014. Numerical modelling of constructed wetlands for wastewater treatment [en línea]. Ph.D. Thesis. S.I.: Universitat Politècnica de Catalunya. [Consulta: 6 junio 2018]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/144624>.
- TSAI, S.-W. y CHANG, C.-S., 1993. Kinetics of lipase-catalyzed hydrolysis of lipids in biphasic organic-aqueous systems. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 57, no. 2, pp. 147-154. ISSN 1097-4660. DOI 10.1002/jctb.280570209.
- VYMAZAL, J. y KRÖPFELOVÁ, L., 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. S.I.: Springer Science & Business Media. ISBN 978-1-4020-8580-2.