
**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO
DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES**

**PERFORMANCE EVALUATION OF AN ALTERNATIVE ARTIFICIAL
WETLANDS SYSTEM USED AS WASTEWATER TREATMENT**

Roy Pérez Salazar

rpere@una.ac.cr

Carolina Alfaro Chinchilla

caro.alfaro@gmail.com

Jihad Sasa Marín

jihadsasa@gmail.com

Juan Agüero Pérez

jaguero@una.ac.cr

Laboratorio de Gestión de Desechos, Escuela de Química
Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica

Recibido el 10 de junio de 2012. Corregido el 18 de agosto de 2012. Aceptado el 2 de octubre de 2012.

Resumen: En Costa Rica, las aguas negras generalmente son depositadas en tanques sépticos en donde se dan procesos de sedimentación y el efluente se infiltra en el subsuelo. Esta actividad representa un gran riesgo para la salud humana y un impacto negativo en el medio ambiente debido a la posible contaminación de aguas subterráneas. En este caso de estudio, se presenta la aplicación de un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas negras en una industria cosmética y farmacéutica, como tecnología de bajo costo, utilizando un sistema de macrófitas enraizadas emergentes. El *Cyperus papyrus*, una especie común y fácilmente adaptable a las condiciones climáticas del país, fue utilizada en la remoción de cargas orgánicas de los efluentes de aguas negras y se obtuvieron porcentajes de remoción entre un 61% y un 90%. La calidad del agua vertida post-tratamiento resultó acorde con la legislación nacional vigente. Los resultados obtenidos permiten demostrar la efectividad de este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales en países con climas tropicales.

Palabras claves: Humedales artificiales subsuperficiales horizontales, aguas residuales, clima tropical, *Cyperus papyrus*.

Abstract: In Costa Rica wastewaters are usually deposited in septic tanks where settling processes occur with effluent infiltration into the ground subsurface. This practice presents a major risk to human health and a negative impact on the environment due to possible groundwater contamination. The following case study presents the application of an artificial subsurface horizontal wetland as a low-cost alternative using a rooted emergent macrophyte system for the treatment of sewage wastewater generated within a cosmetic and pharmaceutical manufacturer. The *Cyperus papyrus*, a common species easily adaptable to the country's climatic conditions, was used in the removal of organic load from sewage discharge with an efficiency between 61% and 90%. Final effluent water quality after treatment was in compliance with current national legislation. The results obtained demonstrate the effectiveness of such biological system as an innovative wastewater treatment alternative in countries with tropical climate

Keywords: Artificial subsurface horizontal wetland, wastewater, tropical climate, *Cyperus papyrus*.

En Costa Rica existen varias instituciones públicas encargadas del manejo del recurso hídrico, lo cual dificulta un adecuado control en el tratamiento y disposición final de las aguas residuales. En términos generales, Solo el 24,1% de la población del país cuenta con alcantarillado (3,6% con tratamiento adecuado), 72,3% con tanques sépticos, 3,1% con letrinas, 0,5% con otros sistemas, lo que reafirma una incorrecta gestión de estas (Mora *et al*, 2011).

Para el tratamiento de las aguas negras se suelen emplear tanques sépticos, sistemas basados en procesos de sedimentación y permeación de los líquidos resultantes; por lo que el sistema aprovecha la capacidad de absorción del suelo sobre el que se encuentra construido (Rosales, 2003).

La permeabilidad de las aguas negras de dichos tanques hacia el subsuelo representa un riesgo debido a que en suelos altamente porosos, la infiltración puede conllevar a la contaminación de las aguas subterráneas. El problema puede ser mayor, si se consideran las zonas que tienen alta densidad de población.

Ante esta problemática, los humedales artificiales (HA) pueden ser aplicados como una alternativa al tratamiento aguas residuales. Estos consisten en un material aislante colocado bajo un lecho filtrante de material poroso y una cubierta vegetal de plantas macrófitas que, mediante la incorporación de oxígeno a través de sus raíces, depura el agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Gauss, 1996; García, 2004).

Según Polprasert y Veenstra (2000), la penetración de la vegetación en el lecho filtrante dentro de los humedales permite el transporte de oxígeno de una manera más

profunda y hace que la velocidad del agua dentro del sistema sea más lenta, lo cual favorece la sedimentación de sólidos suspendidos y aumenta los tiempos de retención en el lecho del humedal.

Entre las especies más comúnmente utilizadas como sistema de macrófitas acuáticas en HA se encuentran la *Typha ssp*, el *Phragmites comunes*, el *Juncos ssp*, el *Schoenoplectus* y el *Carex* (Reed, Crites y Middlebrooks, 1995; Becares, 2004).

La especie *Cyperus papyrus*, conocida popularmente como “papiro”, presenta ciertas características que le permiten un buen desempeño como macrófita enraizada, al ser perenne, poseer grandes rizomas, y espigas cilíndricas, tolerar temperaturas de 20 a 33°C y pH entre 6 y 8, entre otras; además de su capacidad para soportar altos niveles de insolación y su adaptabilidad a suelos arenosos altamente húmedos (Hammel, Grayum, Herrera y Zamora, 2003).

Estas características le permiten al *Cyperus papyrus* ser una especie adaptable a las condiciones climatológicas de la región de Tres Ríos, la Unión, Cartago y al sistema de depuración de aguas negras de una industria farmacéutica mediante el uso de un HA como tratamiento secundario.

Materiales y métodos

Se construyó un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal mostrado en la figura 1. Este se encuentra precedido por un sistema compuesto por un tanque séptico, cajas de registro y sedimentador que se encarga de remover los sólidos suspendidos y disminuir la carga de DBO_{5,20} de las aguas antes de su ingreso al humedal.



Figura 1. Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal en la empresa farmacéutica

El HA se construyó sobre una base de geotextil y geomembrana impermeable. Las plantas de *Cyperus papyrus* fueron sembradas con una densidad de 4 por cada m² sobre un lecho de piedra “cuarta” (diámetro 1.5- 2.5 cm). Tanto a la entrada como la salida del humedal se colocaron piedras “bola” de mayor tamaño (diámetro 5-6 cm), para crear un efecto de gavión que, al poseer mayor espacio entre las piedras, favorece la distribución del flujo en forma horizontal a lo largo del sistema. La entrada de aguas al HA se logró mediante una tubería de distribución colocada en el gavión de piedra bola, cerca de la superficie y perpendicular al flujo, lo que permitió un flujo tipo pistón de las aguas dentro del humedal. La salida de aguas se realizó por medio de una tubería flexible que descarga a una caja de registro con tapa para un posterior tratamiento de las aguas en un sistema terciario. Dicho tubo flexible permitió controlar el nivel de agua dentro del sistema.

Tabla 1
Parámetros de diseño para el sistema tanque séptico-HA

Parámetro	Valor
Dotación de agua (L/persona*día)	250
Personas equivalentes	50
Factor de retorno	0.6*
Caudal de agua residual (L/día)	7500
Entrada al sistema pretratamiento DBO _{5,20} (mg/L)	230
Entrada de sólidos suspendidos totales al pretamiento (mg/L)	300
Remoción DBO _{5,20} en el pretratamiento (%)	60
Remoción sólidos suspendidos totales en el pretratamiento (%)	80
Entrada de DBO _{5,20} al HA (mg/L)	92
Entrada de sólidos suspendidos totales al HA (mg/L)	60
Remoción DBO _{5,20} en el HA (%)	80
Remoción sólidos suspendidos totales en el HA (%)	80
Concentración de salida de DBO _{5,20} del HA (mg/L)	20
Concentración de salida de sólidos suspendidos totales del HA (mg/L)	12
Largo del HA (m)	12
Ancho del HA (m)	3
Relación largo/ancho	4
Relación área/persona equivalente	0.7
Profundidad del HA (m)	0.6
Pendiente (%)	0.5

*Se considera que solo un 60% del consumo de agua se evacua posteriormente como aguas residuales ordinarias (para aseo personal)

El sistema de HA fue monitoreado con la realización de análisis fisicoquímicos de DBO_{5,20}, DQO, fósforo soluble, pH, turbidez, conductividad, temperatura y sólidos suspendidos totales, siguiendo las metodologías planteadas por el *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2005). Estos análisis fueron realizados periódicamente por un lapso de 2 años.

Resultados y discusión

Como se puede observar en la figura 2 y en la figura 3, la remoción de cargas orgánicas de las aguas que ingresaron al HA fueron en promedio 91% para el DBO_{5,20} y 72% para el caso del DQO.

Así, la concentración de DBO determinada en las aguas de la salida del humedal se encontró por debajo de 13 mg/L, a excepción del valor correspondiente al primer muestreo. Estas concentraciones de salida fueron aún menores que la concentración esperada según los parámetros de diseño presentados en la tabla 1.

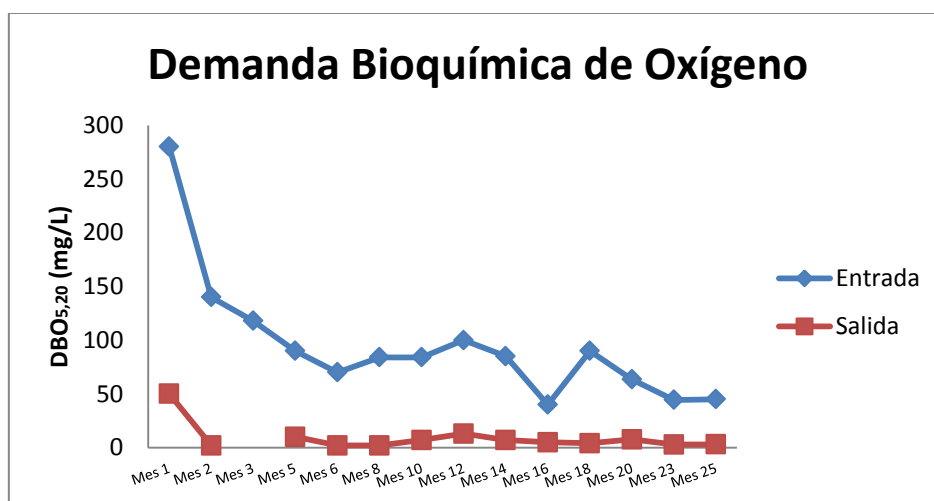


Figura 2. Demanda bioquímica de oxígeno de las aguas de entrada y salida del humedal

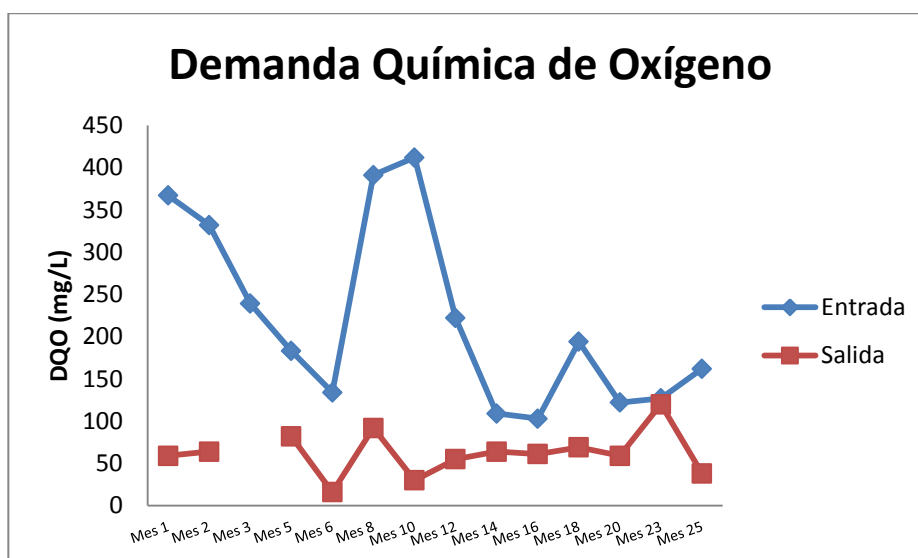


Figura 3. Demanda química de oxígeno de las aguas de entrada y salida del humedal

El comportamiento anterior se favoreció debido a la existencia de un tanque séptico como pretratamiento a dichas aguas, lo que demuestra que la combinación de ambas técnicas conduce a resultados muy favorables.

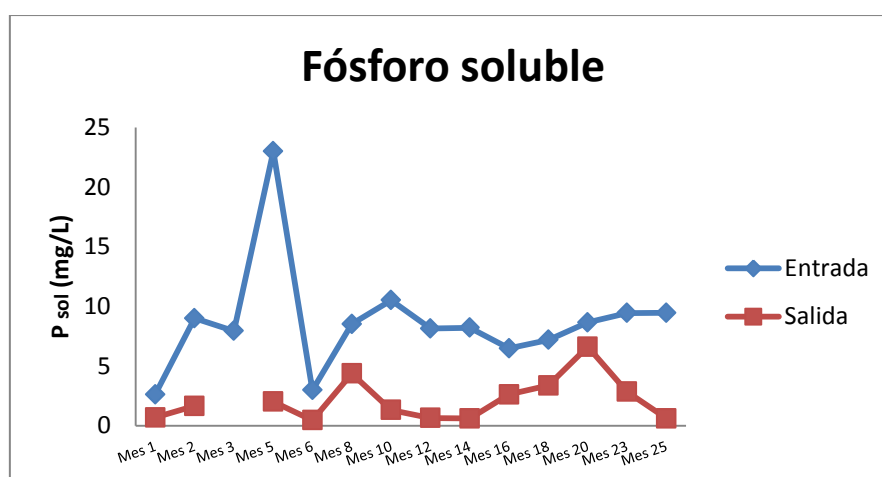


Figura 4. Concentración de fósforo soluble en las aguas de entrada y salida del humedal construido

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la concentración de fósforo en la entrada y salida del humedal, en donde aprecia una remoción promedio de 75%.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales por parte del biofiltro a las aguas provenientes del tanque séptico fue, en promedio, de 73%, valor menor al esperado como remoción, según el diseño; sin embargo, la concentración de entrada fue mayor al valor considerado para el diseño, lo que pudo afectar la remoción promedio del sistema.

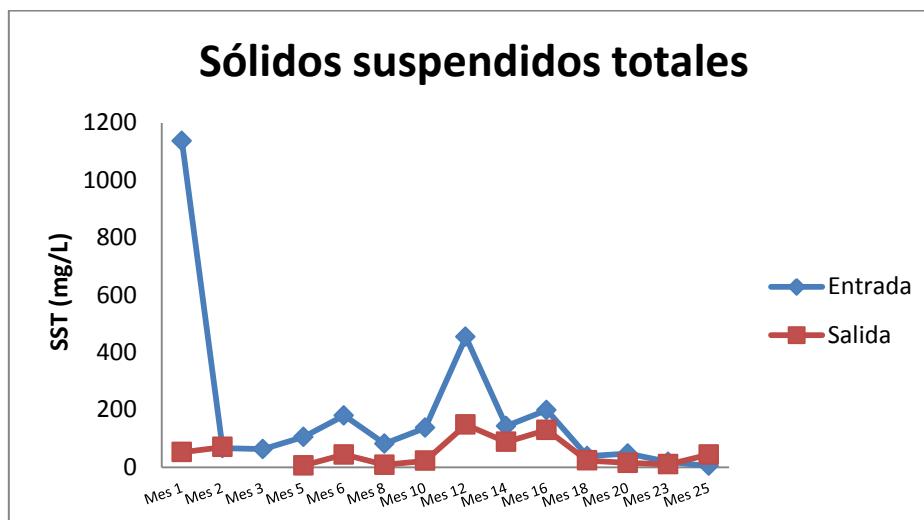


Figura 6. Concentración de sólidos suspendidos totales en las aguas de entrada y salida del humedal

Es importante mencionar que, de acuerdo con los resultados de análisis microbiológicos de las aguas de salida, existen coliformes fecales, alrededor de 1600 NMP/100 mL, en el agua de salida, por lo que se recomienda aplicar un tratamiento terciario de desinfección al agua. Considerando la calidad de esta agua, la opción de utilizarla en riego o algún otro reúso sería viable siempre que se logre disminuir la cantidad de coliformes por medio de desinfección y se cumpla, así, con lo estipulado en el *Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales* (Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud, 2007).

Conclusiones

El humedal construido demostró una alta eficiencia en la remoción de carga orgánica de las aguas tratadas, al alcanzar porcentajes promedios de 91% para el caso del $DBO_{5,20}$ y 72% para el DQO.

En cuanto a los nutrientes, se obtuvo una remoción promedio de 75% para el fósforo soluble. Respecto a los sólidos totales, el humedal tuvo una remoción promedio de un 73%

El *Cyperus papyrus* demostró, a lo largo del experimento, ser una especie apta como sistema de macrófitas enraizadas en el humedal, presentó un buen crecimiento, resistencia a plagas y una adecuada adaptabilidad a las condiciones climáticas imperantes en el área central del país.

La construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas negras posterior a un sistema tradicional de tanque séptico demostró ser una alternativa viable para la aplicación de tecnologías limpias en la depuración de aguas en el país.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), por el financiamiento otorgado por medio del Fondo de Incentivos para Proyectos Asociados al Sector Productivo.

Referencias

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). (1998). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater [Métodos normalizados para el análisis de agua y aguas residuales]*. 20 edición. Estados Unidos.

Becares, E., (2004). *Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial*. En: J. García, J. Morató y J. Bayona (Ed.), *Nuevos criterio para el diseño y operación de humedales construidos (1^a Edición)*, pp. 51-62. Barcelona, España: CEPET.

García, J. (2004). *Humedales construidos para controlar la contaminación: perspectiva sobre una tecnología en expansión*. En: J. García, J. Morató y J. Bayona (Ed.), *Nuevos criterio para el diseño y operación de humedales construidos (1^a Edición)*, pp. 51-62. Barcelona, España: CEPET.

Gauss, M. (1996). *Aplicación de la tecnología de biofiltros como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales doméstica en países de clima tropical*. Proyecto ASTEC-Austria. Universidad Nacional de Ingeniería, UNI. Centro de Investigación y estudios del medioambiente, CIEMA. Nicaragua.

Hammel, B., Grayum, M., Herrera, C. y Zamora, N. (2003). *Manual de plantas de Costa Rica*. Missouri Botanical Garden. INBio, Museo Nacional de Costa Rica. Estados Unidos.

Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud. (2007). *Decreto Ejecutivo 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. Costa Rica.

- Mora, D. Mata, A. Portuguez F. (2011). *Acceso al agua para consumo humano y saneamiento. Evolución en el periodo 1990-2010 en Costa Rica*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.
- Pérez, R. (2007). *Dimensionamiento de un humedal artificial como alternativa de tratamiento y reúso de aguas domésticas grises en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional en Heredia*. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Polprasert, C. y Veenstra, S.(2000). *Sustainable wastewater treatment 1: natural treatment systems [Tratamiento sostenible de aguas residuales 1: sistemas de tratamiento natural]*. IHE Delf. Netherlands.
- Reed, S., Crites, R., Middlebrooks, E. (1995). *Natural system for waste management and treatment [Sistemas naturales para el manejo y tratamiento de desechos]*. (2°Ed.), pp. 70-73, 186-202. United States of America: McGraw-Hill.
- Rosales, E. (2003). *Tanques sépticos. Conceptos teórico bases y aplicaciones*. CIVCO-ITCR. Cartago, Costa Rica.