



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL INNOVADOR PARA DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUAL URBANA

González, Gala

Cátedra de Tratamiento de Efluentes, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas-UNL

Director/a: Modini, Laura

Codirector/a: Zerbato, Mariel

Área: Ciencias Biológicas

Palabras claves: Electrohumedal, Tratamiento, Cloacal.

INTRODUCCIÓN

Entre los diferentes tratamientos que se les da a las aguas residuales, se encuentra el uso de humedales artificiales, que son sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, específicamente construidos bajo para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad (Romero Aguilar y col., 2009). Además de ser eficaces para la eliminación de contaminantes del agua, tienen bajo costo de instalación y mantenimiento. En los últimos años surgió como alternativa innovadora la utilización de humedales bioelectrogénicos, que consiste en la incorporación de tecnologías electroquímicas microbianas a los humedales artificiales para mejorar el tratamiento de aguas residuales, y a su vez, ser valorizados energéticamente. Este proceso está basado en las interacciones entre los microorganismos y los materiales conductores de electricidad (Aguirre Sierra, 2017). Los primeros oxidan la materia orgánica del agua residual, cediendo electrones a un ánodo, estableciendo de esta manera una corriente eléctrica hasta un cátodo donde actúa un aceptor de electrones, como el oxígeno (Horcajada y col., 2016). De esta manera, se logra obtener energía a partir de la materia orgánica que se encuentra en el agua residual.

OBJETIVOS

- Construir un electrohumedal acoplado un humedal artificial con una celda microbiológica y evaluar su eficiencia en la depuración de aguas residuales urbanas y la generación de electricidad.

Título del proyecto: Tecnologías alternativas para el tratamiento sustentable de aguas residuales municipales y la generación de energía renovable.

Instrumento: CAI+D

Año convocatoria: 2016

Organismo financiador: UNL

Director/a: Modini, Laura

METODOLOGÍA

Diseño y construcción del Humedal Bioelectrogénico

En el laboratorio, se construyó un humedal bioelectrogénico (H1) a escala micro-piloto, de tipo subsuperficial, usando un tubo de PVC de 70 cm de altura y 20 cm de diam. Desde la base hacia arriba, se colocaron 4 capas (Figura 1): 20 cm arena gruesa (diam. 0,75-1,4 mm), la capa anódica con 10 cm de grafito granular (diam. 1-3 mm) y una malla de acero inoxidable (10,2 g) como colector de corriente, otra capa de 20 cm de arena gruesa y por último el cátodo, que consistió de una capa con 3 cm de grafito granular y una malla de acero inoxidable (3,4 g). Previo a su uso, los gránulos de grafito se lavaron con HCl 1 M y NaOH 1M para eliminar la posible contaminación con iones metálicos y grasa respectivamente. Los electrodos se conectaron entre sí con cables de acero inoxidable de 0,6 mm de diam. a una resistencia externa de 1000 ohm para cerrar el circuito. Tres ejemplares de *Typha* sp. obtenida de un ambiente natural acuático de la ciudad de Santa Fe (Argentina), se plantó a escasa profundidad, de manera que las raíces permanecieran principalmente en la mitad superior del humedal. Como control (H2), se construyó un humedal convencional con 50 cm de arena gruesa como sustrato y 3 cm de grava (diam. 5-10 mm) en la parte superior.

Obtención de agua residual

La misma fue suministrada por la Planta de Tratamiento de Líquidos cloacales de la municipalidad de Santo Tomé. Antes de usar, se dejó sedimentar 2 h.

Puesta a punto y operación

Los humedales se aclimataron durante 3 meses antes de iniciar los ensayos para evaluar el tratamiento. Ambos humedales fueron operados con un régimen de flujo vertical ascendente y en condiciones controladas de laboratorio (lámpara GRO LUX 40 W con ciclos de 8 h luz/16 h oscuridad, Temperatura: 16-25°C). El caudal de alimentación se dosificó en forma continua mediante una bomba peristáltica (Apema, Argentina), dando un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 2,7 d. El agua tratada se recogió a través de un conducto ubicado en el borde superior del humedal.

Evaluación del tratamiento de agua residual

Se realizaron 4 muestreos, con una frecuencia semanal. En cada muestreo se tomaron muestras de agua cruda (entrada) y tratada (salida) y se analizaron los siguientes parámetros: pH, color, turbiedad, SST (Sólidos Suspendidos Totales secados a 103 °C), conductividad, DQO (Demanda Química de Oxígeno): método de reflujos abiertos, OD (Oxígeno Disuelto), Nitrito, Nitrito y Amonio,

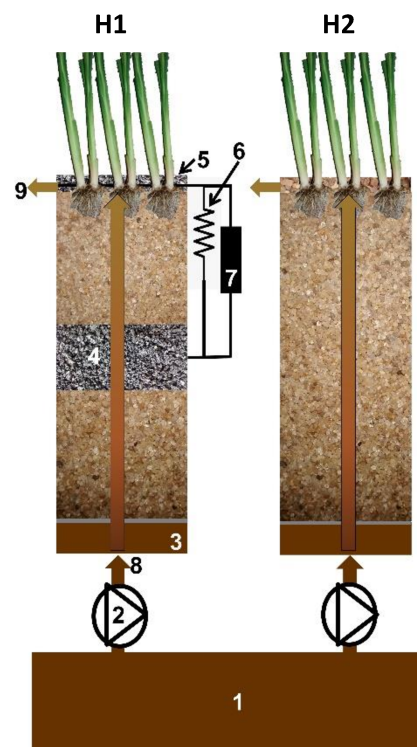


Figura 1: Esquema de los humedales construidos.

H1- Humedal Bioelectrogénico.
H2- Humedal convencional (control).
1) Depósito de agua cruda, 2) Bomba, 3) Falso fondo (placa perforada), 4) Ánodo, 5) Cátodo, 6) Resistencia, 7) Multímetro, 8) Tubo de alimentación, 9) Tubo de drenaje

Coliformes totales y *E coli*. Todas las técnicas se llevan a cabo de acuerdo con Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2012). El porcentaje de remoción de cada contaminante se calculó como la diferencia porcentual entre la concentración de entrada y la de salida.

Evaluación del rendimiento eléctrico

El voltaje a través de la resistencia externa se registró en forma continua (1 lectura/min) usando un multímetro digital (Owon, China). La corriente ($I=V/R$) y la potencia eléctrica ($P=VI$) se obtuvieron por cálculos. La densidad de corriente (DI) y la densidad de potencia (DP) se calcularon dividiendo I y P respectivamente, por el volumen líquido del ánodo. La cantidad de energía producida por Kg de DQO removida (NER) fue determinada según Ge y col. (2014).

Análisis estadístico

Salvo que se especifique otra cosa, los resultados se expresan como Mediana (med) y Rango Interquartil (RIQ). Las remociones porcentuales de contaminantes logradas en cada humedal se compararon mediante la prueba de Mann-Whitney con un nivel de significación $\alpha=0,05$.

RESULTADOS

Ambos humedales fueron alimentados con el mismo influente durante un total de 16 semanas. La eficiencia del tratamiento del agua residual de H1 y H2 se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Concentraciones de contaminantes en el agua cruda y en el agua tratada en el electrohumedal (H1) y en el humedal convencional (H2). Los valores se expresan como med (RIQ).

	Entrada		Salida	
	Crudo (n=4)	H1 (n=4)	H1 (n=4)	H2 (n=4)
T (UNT)	141 (51)	2,12 (0,45)	2,12 (0,45)	4,35 (4,31)
pH	7,80 (0,22)	7,62 (0,14)	7,62 (0,14)	7,91 (0,24)
Color (UCV)	55 (5)	7,50 (12,50)	7,50 (12,50)	47,5 (16,25)
Cond (uS/cm)	1672 (187)	1492 (260)	1492 (260)	1504 (207)
SST (mg/L)	63,75 (36,87)	5,83 (6,66)	5,83 (6,66)	6,67 (6,25)
OD (mgO ₂ /L)	0	1,9 (0,7)	1,9 (0,7)	2,3 (1,1)
DQO (mgO ₂ /L)	313 (72)	30,97 (4,52)	30,97 (4,52)	61,32 (23,15)
NH ₄ ⁺ (mg/mL)	82,12 (12,62)	54,98 (27,4)	54,98 (27,4)	73,99 (46,61)
NO ₂ ⁻ (mg/mL)	< 0,03	0,77 (0,82)	0,77 (0,82)	0,47 (0,05)
NO ₃ ⁻ (mg/mL)	< 5	8,2 (8,7)	8,2 (8,7)	2,94 (1,46)
CT (NMP/100 mL)	4,3.10 ⁷ (5,4.10 ⁷)	2,6.10 ⁴ (4,2.10 ⁴)	2,6.10 ⁴ (4,2.10 ⁴)	4,3.10 ⁴ (1,7.10 ⁴)
<i>E coli</i> (NMP/100 mL)	1,8.10 ⁷ (2,2.10 ⁷)	5900 (7078)	5900 (7078)	9300 (1350)

T: Turbiedad, Cond: Conductividad, CT: Coliformes totales

El color del agua tratada en H1 fue inferior respecto al humedal control ($p=0,029$), lo cual podría atribuirse a la mayor área superficial que proveen los gránulos de grafito para el desarrollo de la biopelícula. La DQO del agua cruda varió desde un máximo de 350,43 mg/L hasta un mínimo de

264,90 mg/L. El electrohumedal removió 89,96 (2,98) % de DQO del agua residual mientras que el humedal convencional sólo logró remover 77,19 (7,33) %, $p=0,030$. No se halló diferencia significativa en la remoción de amonio lográndose una reducción de 31,62 (36,73) % y 13,19 (28,33) % en H1 y H2 respectivamente. Los valores de nitrito y nitrato en el agua tratada por ambos sistemas fueron superiores a los del agua cruda, indicando que se produjo nitrificación. El tratamiento en H1 redujo en 99,95 (0,08) % la densidad de CT y en 99,98 (0,02) % el número de *E coli*. En H2 el porcentaje de eliminación de estas bacterias fue similar.

La tabla 2 muestra los valores de NER, DP y DI obtenidos con el voltaje máximo y el voltaje promedio durante el período de ensayos. El rendimiento eléctrico fue similar al logrado por otros autores (Doherty y Zhao, 2015).

Tabla 2: Rendimiento eléctrico del humedal bioelectrogénico

Parámetro	Voltaje promedio (aproximadamente 381 mV)	Voltaje máximo (514 mV)
NER ¹ (Wh/Kg DQO)	5,20	7,94
DP (W/m ³)	0,095	0,173
DI (A/m ³)	0,225	0,337

¹para el cálculo se usó el valor promedio de kgDQO/m³ removidos

CONCLUSIONES

El humedal bioelectrogénico resultó más eficiente que el humedal convencional para eliminar contaminantes comunes presentes en las aguas residuales urbanas como DQO y color. Además, se demostró su capacidad para producir simultáneamente electricidad mientras se depura el agua residual.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Aguirre Sierra, MA., 2017. Integrating microbial electrochemical systems in constructed wetlands, a new paradigm for treating wastewater in small communities. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. España.

APHA; AWWA; WEF, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington.

Doherty, L.; Zhao, L., 2015. Operating a two-stage microbial fuel cell-constructed wetland for fuller wastewater treatment and more efficient electricity generation. *Water Science & Technology*, 72(3): 421-428.

Ge, Z.; Li, J.; Xiao, L.; Tong, Y.; He, Z., 2014. Recovery of electrical energy in microbial fuel cell: brief review. *Environmental Science and Technology Letter*, 1: 137-141.

Horcajada, L.; Fernández, FJ.; Villaseñor, J.; Rodrigo, MA.; Cañizares, P.; De Lucas, A., 2016. Acoplamiento de celdas microbiológicas de combustible en humedales artificiales para depuración de aguas residuales. Artículo técnico. Disponible en <https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/acoplamiento-de-celdas-microbiologicas-de-combustible-en-humedales-artificiales-para-depuracion-de-aguas-residuales>

Romero Aguilar, M.; Colin-Cruz, A.; Sánchez Salinas, E.; Ortiz Hernández, ML., 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3): 157-167.