

Humedales construidos como tratamiento no convencional del agua residual de la industria del electroplating

Constructed wetlands as an unconventional wastewater treatment of the electroplating industry

Daniela González-Pereyra*, Rodolfo Cisneros-Almazán, Rodolfo Cisneros-Pérez, Z. Arturo Guadiana-Alvarado, Gerson A. Soto-Peña

* Maestría en Tecnología y Gestión del Agua, Facultad de Ingeniería, UASLP. Av. Dr. Manuel Nava 304, Zona Universitaria, 78210 San Luis, S.L.P, México, danni.gper@gmail.com

Palabras clave: electroplating, cobre, zeolita, escoria metalúrgica

Key words: electroplating, copper, zeolite, metallurgical slag

INTRODUCCION

Para que las industrias entren en un esquema de sostenibilidad es necesario que el tratamiento de sus aguas genere los menores impactos posibles. Industrias del ramo del electroplating, consumen cerca del 95% del total del agua de proceso en el lavado de piezas (Ríos y col., 2011). Una industria ubicada en la ciudad de San Luis Potosí, México, genera cerca de 150m³/mes de agua residual proveniente del lavado de piezas, esta agua se caracteriza por tener altas concentraciones de cobre, pH muy bajos, altas conductividades eléctricas y altas concentraciones de detergentes. El tratamiento convencional de la mayoría de este tipo de industrias se basa en la precipitación química, sin embargo, este método presenta varias desventajas, por lo cual se busca implementar sistemas de tratamiento que reduzcan los impactos de los sistemas convencionales y entre las alternativas se encuentran los humedales construidos (CW por sus siglas en inglés), estas tecnologías ya han sido probadas con aguas residuales industriales (Vymazal, 2014; Wu y col., 2014), sin embargo, existe un área de oportunidad para evaluar su eficiencia en aguas de la industria del electroplating. El funcionamiento de los humedales construidos se basa en una compleja interacción entre sus distintos componentes, uno de los componentes más importantes es el sustrato, en este se llevan a cabo la mayoría de los procesos de remoción por lo cual su selección es un tema importante; con el fin de intensificar los CWs se han probado materiales adsorbentes, especialmente para aguas contaminadas con metales (Wu y col., 2014). Con base en lo anterior, se realizaron pruebas en prototipos de humedales construidos (PCW) para evaluar su capacidad de depuración del agua residual de una industrial con dos sustratos; zeolita natural y escoria metalúrgica.

METODOLOGÍA

Se construyeron 6 prototipos de humedales de flujo vertical (HFV), en tres de ellos se utilizó como sustrato zeolita natural (clinoptilolita) y en los tres restantes se rellenaron con escoria metalúrgica, el volumen de material fue de 115 L aproximadamente. Los prototipos trabajaron con un sistema de recirculación de agua (Figura 1).

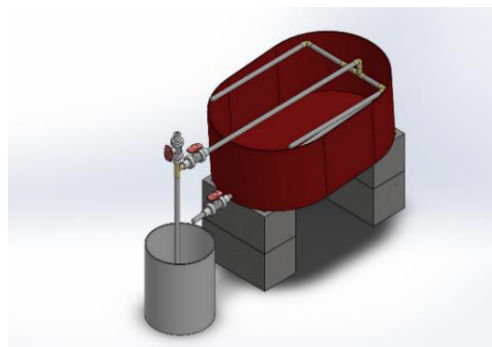


Figura 1. Diseño de los prototipos de humedales construidos tipo HFV

Los PCW se trasplantaron con la especie vegetal *Phragmites australis*, se seleccionaron 12 plantas desarrolladas distribuidas de forma homogénea en cada prototipo, dejando un periodo de adaptación y crecimiento de 3 meses, durante los cuales se alimentó una solución nutritiva y se monitoreó el pH del agua, conductividad eléctrica (CE), temperatura y humedad ambiental, crecimiento de la planta, flujo y consumo de agua. Una vez que transcurrió el periodo de crecimiento se comenzó la alimentación de agua residual industrial, las características del agua residual se muestran en la Tabla 1. Para evitar daños en las plantas durante el arranque del tratamiento se suministraron diluciones del agua residual utilizando %v/v del 25%, 50%, 75% y finalmente sin diluir, las diluciones se realizaron con agua potable, cabe señalar que se ajustó el pH entre 7-7.5 para disminuir las afectaciones en las plantas, de cada concentración se alimentaron 2L de agua cambiando de porcentaje cada semana.

En el caso del agua sin diluir, se alimentó el mismo volumen diariamente durante 16 semanas, adicionalmente se evaluó la capacidad de depuración de los humedales mediante las concentraciones iniciales y finales de constituyentes como el cobre, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), alcalinidad y detergentes como sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Las concentraciones de cobre, DQO y detergentes se midieron por espectrofotometría (DR 2800 HACH), los SST se determinaron por la NMX-AA-034-SCFI-2001.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la caracterización realizada se obtuvieron las características que se muestran en la Tabla 1, se puede observar en los resultados la alta variabilidad de los parámetros fisicoquímicos, este hecho podría afectar la eficiencia de los humedales ya que son sensibles a las fluctuaciones de las concentraciones de contaminantes, sin embargo, los resultados muestran que los prototipos no presentan afectaciones por este hecho, lo que representa una importante ventaja. Otros iones presentes en el agua se encuentran Al, Ca, Fe, K, Mg, Zn, Na y S con concentraciones de 25.4, 55.0, 18.7, 78.2, 8.47, 1.54mg/L, 0.567 y 0.390%, respectivamente.

Tabla 1. Caracterización del agua residual de una industria del electroplating

	SST (mg/L)	SAAM (mg/L)	Acidez (mgCaCO ₃ /L)	Cobre (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	CE (mS/cm)
Promedio	2842.7	13.98	5831.7	162.64	2286.11	1.71	23.62
Max	8398.5	28.41	10927	271	5025	2.06	35.8
Min	544	5.16	2179.92	85.25	1025	1.38	12.36

Con referencia a los parámetros monitoreados los humedales trabajaron con flujos promedio de 2.37 m³/s para los prototipos con zeolita (PCW-Z) y 4.51 m³/s para escoria metalúrgica (PCW-E), en cuanto a las condiciones ambientales se tuvieron temperaturas máximas de 42.1 °C y mínimas de 8.5°C con humedad máxima de 84.5% y mínima de 20.0%, los datos se tomaron desde agosto de 2019 a marzo de 2020, bajo estos valores se tuvo un promedio de evapotranspiración de 3.31 L/d para PCW-Z y 1.59 PCW-E, los valores variaron de acuerdo a la población de *P. australis* que se desarrolló en cada prototipo. El pH del influente varió entre 7-7.5, teniendo un valor en el efluente para los PCW-Z de 4.60 al comienzo del proceso y llegando a 5.31 al final de este, en el caso de PCW-E se comenzó con un pH de 6.63 llegando a 6.98 unidades, estas variaciones en el pH son el resultado de las múltiples reacciones que se llevan a cabo dentro del humedal que van desde el intercambio iónico ocurrido en el sustrato hasta productos metabólicos de los microorganismos (Sheoran & Sheoran, 2006).

En el caso de la conductividad eléctrica, se observa una destacable tolerancia a los altos valores alcanzados por parte de la planta, especialmente en los PCW-Z, los cuales funcionaron hasta con valores de 22.4 mS/cm observándose ligeras decoloraciones en las hojas y lignificación en los tallos, caso contrario en los PCW-E la planta se vio sustancialmente más afectada llegando a la marchitez total de la población, no obstante, se tenían conductividades eléctricas de 41.6 mS/cm, se puede decir entonces que *Phragmites australis* es tolerante a concentraciones altas de salinidades. Referente a lo anterior, hubo pérdidas de 9 plantas en promedio para los PCW-Z y de 21 plantas para los PCW-E, cabe señalar que la mayor pérdida en ambos sistemas se dio a su vez durante la época más fría de los experimentos.

Las eficiencias obtenidas en la remoción de cobre se muestran en la Tabla 2, los porcentajes de remoción en el caso del cobre coinciden con los reportado por otros autores que han utilizado humedales construidos para la remoción de metales pesados (Sochacki y col., 2014; Sudarsan et al., 2015), en el trabajo realizado por Sochacki (2014) donde se prueban los humedales para tratar agua de electroplating se obtuvieron porcentajes de 97.4% en este caso de 96.7%, no obstante después de las 16 semanas de tratamiento de agua sin diluir, los sustratos se vieron saturados otorgando remociones de menos del 10% al final del proceso.

Tabla 1. Porcentajes de remoción de cobre a diferentes concentraciones

Dilución	% Remoción		Dilución	% Remoción	
	PCW-Z	PCW-E		PCW-Z	PCW-E
25%	51.02	77.3	75%	94.9	97.5
50%	90.84	96.2	100%	95.8	96.7

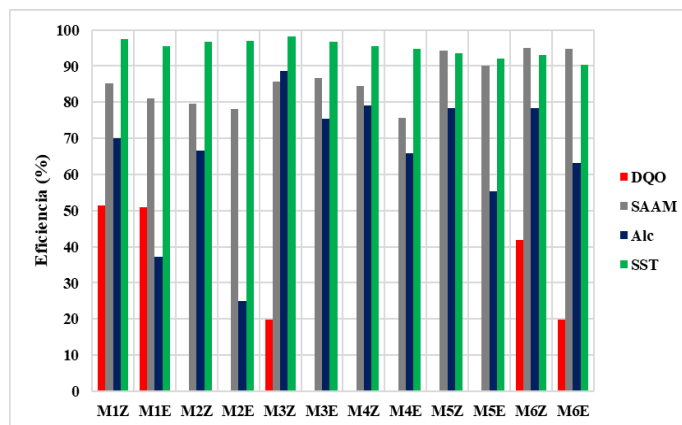


Figura 2. Eficiencias obtenidas en los sistemas de humedales para diferentes parámetros (M1Z muestra 1 zeolita, M1E muestra 1 escoria)

CONCLUSIONES

Debido a la tolerancia observada, se puede considerar que la especie *P. australis* es viable para tratar aguas de electroplating con una muy alta salinidad. Al final del proceso se tuvo una pérdida de 9 plantas en promedio, sin embargo, el crecimiento de brotes nuevos fue constante en la zeolita, se considera que ésta es un sustrato viable para el desarrollo de las plantas. La escoria presentó mejores eficiencias de remoción en todas las pruebas, no obstante, las plantas se vieron significativamente más dañadas. Hasta la 3era quincena se obtuvo una remoción de cobre de hasta el 65% en los humedales con escoria, posteriormente las eficiencias entre zeolita y escoria fueron similares con un 45%, finalmente las eficiencias cayeron significativamente. Los valores obtenidos en la remoción de cobre después de las 19 semanas de tratamiento no permitieron obtener los límites máximo permisibles, respecto al resto de los parámetros, solo los SST y los detergentes son removidos con buena eficiencia. De acuerdo al comportamiento de los humedales, se considera que estos podrían ser evaluados como tratamiento de refinación para este tipo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Ríos, J., Posada, J., & Uribe, J. (2011). *Potencial de recirculación de aguas residuales industriales*. Revista Investigaciones Aplicadas, 5(2), 59–72.
- Sheoran, A. S., & Sheoran, V. (2006). *Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands : A critical review*, Minerals Engineering, 19.
- Sudarsan, J. S., Deeptha, V. T., Maurya, D., Goel, M., Ravi Kumar, K., & Das, A. (2015). *Study on treatment of electroplating wastewater using constructed wetland*. Nature Environment and Pollution Technology, 14(1).
- Vymazal, J. (2014). *Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review*. Ecological Engineering, 73, 724–751.
- Wu, S., Wallace, S., Brix, H., Kuschik, P., Kirui, W. K., Masi, F., & Dong, R. (2015). *Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges, operational strategies and overall performance*. Environmental Pollution, 201, 107–120.